1

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

Проверен в 198

(3)

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ РЭА С ГРУППОВЫМИ ИГОЛЬЧАТО-ШТЫРЕВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

ОСТ4 ГО.012.221

Редакция 1-78

Издание официальное

1979

(Всего 2лл.)

УДК 006.44.621.396.6.017.?

Группа Э02

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ РЭА С ГРУППОВЫМИ ИГОЛЬЧАТО-ШТЫРЕВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

ОСТ4 ГО.012.221

Редакция I-78

Директивным письмом организации от 26 декабря 1978 г. № 017-107/к/942 срок действия установлен с I января 1980 г. до I января ~~1985 г.~~ 1995 г. (3)

Настоящий стандарт распространяется на блоки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в состав которых входят игольчато-штыревые теплоотводы, являющиеся частью конструкции блока. На игольчато-штыревом теплоотводе размещают любое количество источников тепла, т.е. теплоотвод является групповым.

Стандарт устанавливает методы расчета:

стационарных тепловых режимов указанных блоков с естественным и принудительным воздушным охлаждением при изменении температуры окружающей среды от минус 60°С до плюс 70°С и атмосферного давления от 666 до 106657 Па (от 5 до 800 мм рт.ст.);

блоков РЭА с кондуктивным отводом тепла от группового теплоотвода и кожуха блока;

температурного поля и условий теплообмена группового игольчато-штыревого теплоотвода при изменении атмосферного давления от 0,013 до 106657 Па (от 10^{-4} до 800 мм рт.ст.) и воздействии механических и акустических вибраций.

Стандарт действует совместно с ОСТ4 ГО.208.203, ОСТ4 865.002, ОСТ4 ГО.865.000, ОСТ4 ГО.070.003, ОСТ4 012.001.

В технически обоснованных случаях наряду с настоящим стандартом допускается использование других методик расчета.

I. ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ИТ - источник тепла;
ИП - изотермическая поверхность;
H_i - нагретая зона ;
Nu - число Нуссельта;
$Nu_н$ - число Нуссельта, рассчитываемое для пониженного давления;
$Nu_{ск}$ - число Нуссельта при наличии температурного скачка и скольжения;
Re - число Рейнольдса;
Gr - число Грасгофа;
Pr - число Прандтля;
Kn - число Кнудсена;
Bi - число Био;
K - приведенный коэффициент теплопередачи основания, Вт/м^2·К;
$K_к$ - коэффициент теплопередачи контакта;
$K_п$ - коэффициент перемешивания;
$П$ - коэффициент перфорации;
$Ф$ - коэффициент теплового взаимодействия, Вт/ К;
G_r - расход перемешиваемого воздуха в герметичном блоке, кг/ч;
$G_{ек}$ - расход воздуха в блоке с перфорированным кожухом при охлаждении естественной конвекцией, кг/ч;

$G_{вк}$ - расход охлаждающего воздуха при охлаждении принудительной конвекцией, кг/ч;
$\alpha_к$ - коэффициент теплоотдачи корпуса ИТ, Вт/м^2;
$\alpha_{экв}$ - эквивалентный коэффициент теплоотдачи пластины во внешней области тепловой зоны, Вт/м^2·К;
$\alpha_р, \alpha_п$ - общий коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода и гладкой пластины, Вт/м^2·К;
$\alpha_{рк}, \alpha_{пк}$ - конвективный коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода и гладкой пластины во внешней области тепловой зоны, Вт/м^2·К;
$\alpha_{рл}, \alpha_{пл}$ - лучистый коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода и гладкой пластины во внешней области тепловой зоны, Вт/м^2·К;
F - площадь кожуха блока, м^2;
$F_в$ - площадь кожуха блока, занятая перфорацией, м^2;
$S_в$ - площадь перфорационных отверстий, м^2;
$F_{ит}$ - площадь основания ИТ, м^2;
$F_р$ - полная теплообменная поверхность игольчато-штыревого теплоотвода, м^2;
$F_{осн}$ - площадь пластины без штырей, м^2;
$F_{ед.осн}$ - площадь единичной пластины без штырей, м^2;
$F_п$ - площадь платы, м^2;
$F_{ед.р}$ - полная теплообменная поверхность единичного элемента игольчато-штыревого теплоотвода, м^2;
$V_р$ - часть объема блока, занятая радиоэлементами, м^3;

V_{np} – часть объема блока, занятая подводящими проводами, м^3;

L_1, L_2, L_3 – размеры блока, м;

$\ell_{1n}, \ell_{2n}, \ell_{3n}$ – размеры платы (нагретой зоны), м;

$\ell_{1н}, \ell_{2н}$ – расстояние между нагретой зоной и стенкой кожуха, м;

$L_{опр}$ – определяющий размер теплообменной поверхности, м;

h – высота штыря (высота нагретой зоны), м;

Δt – перегрев воздуха, К;

$T^{доп}_{тепл}$ – допустимая температура теплоотвода в зоне ИТ, К;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$T_в$ – температура воздуха, К;

Q – количество тепла (тепловой поток), Вт;

P – общая тепловая мощность, рассеиваемая блоком, Вт;

$P_т$ – мощность, рассеиваемая групповым теплоотводом, Вт;

$q_{уд}$ – тепловая мощность блока или любого ИТ, отнесенная к его поверхности теплообмена, Вт/м^2;

λ – теплопроводность, Вт/м·К;

$K_з$ – коэффициент заполнения;

УЗД – уровень звукового давления, дБ.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

2.1. Нагретой зоной блока называют плату с расположенными на ней элементами.

2.2. Тепловой зоной ИТ называют участок пластины – основания оребрения, который полностью рассеивает тепло, передаваемое ИТ.

2.3. Изотермические поверхности блоков с групповыми теплоотводами разделяют на два типа: содержащие ИТ (нагретая зона,

групповой теплоотвод) и не содержащие ИТ (стенки кожуха и т.п.).

2.4. Коэффициентом теплового взаимодействия (общей тепловой проводимостью) называют суммарный коэффициент теплопередачи между двумя изотермическими поверхностями или между изотермической поверхностью и окружающей средой.

Члены, входящие в коэффициент теплового взаимодействия, отражают все способы теплообмена, которые имеют место между изотермическими поверхностями или между изотермической поверхностью и окружающей средой.

Пример I. Две изотермические поверхности с температурами T_1 и T_2 $(T_1 > T_2)$ обмениваются количеством тепла $Q = \alpha_1 F_1 (T_1 - T_2)$, которое включает в себя тепловой поток, рассеиваемый теплопроводностью $Q_т$, термическим излучением $Q_л$, конвективным теплообменом $Q_к$, контактной теплопередачей $Q_{кт}$, т.е. $Q = Q_т + Q_л + Q_к + Q_{кт}$, отсюда

$$\Phi_{12} = \alpha_1 F_1 = \frac{Q_т + Q_л + Q_к + Q_{кт}}{(T_1 - T_2)} \qquad (I)$$

Формула (I) является общим математическим выражением коэффициента теплового взаимодействия Φ_{12} между изотермическими поверхностями.

Величины $Q_\lambda, Q_л, Q_к$ и $Q_{кт}$ определяют по формулам теплообмена.

Пример 2. Изотермическая поверхность с T_1 передает в окружающую среду с $T_{в1}$ количество тепла Q. Величина Q включает в себя тепловой поток, рассеянный естественной конвекцией $Q_к$ и термическим излучением $Q_л$, т.е.

$$Q = \alpha F (T_1 - T_{в1}) = Q_к + Q_л, \text{ откуда}$$

$$\Phi_{1в1} = \alpha F = \frac{Q_к + Q_л}{T_1 - T_{в1}} \qquad (2)$$

Формула (2) является общим математическим выражением коэффициента теплового взаимодействия $\Phi_{i\text{б}i}$ между изотермической поверхностью и окружающей средой.

Для определения Φ_{ij} начальные значения абсолютной температуры стенок кожуха, тепловых зон, воздуха в блоке и т.п. задают, основываясь на их предельно допустимых значениях. Затем уточняют эти величины методом последовательных приближений.

2.5. Коэффициентом заполнения блока или его части называют отношение суммарного объема радиодеталей и их элементов конструкции к общему объему блока или его части.

2.6. Коэффициентом перемешивания называют кратность воздухообмена внутри герметичного блока.

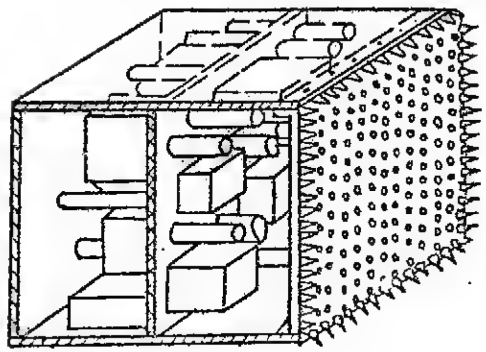
2.7. "Холодной платой" условно называют любую конструкцию радиоэлектронного аппарата, на которую происходит сток тепла от теплонагруженного объекта.

3. ОПИСАНИЕ ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ

3.1. Методы расчета, приведенные в стандарте, разработаны для трех типов конструкций блоков с групповыми теплоотводами.

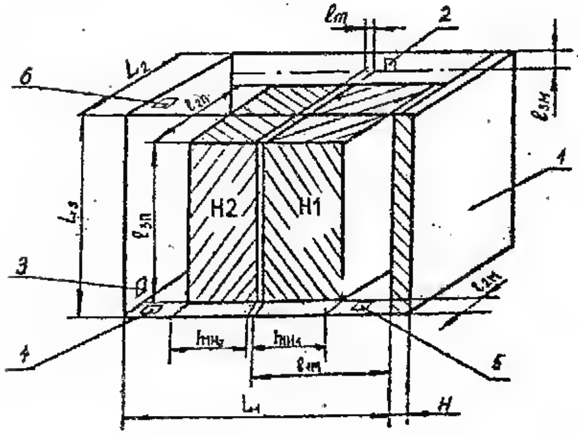
3.1.1. В блоке типа I (черт.1) групповой теплоотвод является одной из стенок кожуха. Теплоотвод может иметь одностороннее (снаружи) или двухстороннее оребрение штырями. Теплонагруженные элементы блока располагаются на вертикальной или горизонтальной плате (или нескольких платах). Кожух блока может

I тип блока с групповым теплоотводом



Черт.1

Тепловая модель блока I типа



1 – теплоотвод групповой , 2–6 – стенки кожуха

Черт.2

быть герметизированным или иметь парфорационные отверстия для охлаждения. Охлаждение - естеотвенная или принудительная конвекция.

3.I.2. В блоке типа 2 (черт. 3) групповой теплоотвод является боковой стенкой. Охлаждеаиа теплоотвода и остальаых стеаок кожуха осуществляатся кондукцией на "холодную плату" и конвекцией в окружающую сраду. Размещения теплонагруженных элементов в блока, конструкция кожуха и теплоотвода такие же как и а блоке типа I.

3.I.3. В блоке типа 3 (черт.5) группоаой теплоотвод является перегородкой внутри блока, может иметь одно- или двухстороннее орабрение штырями. Теплонагруженные элементы размещаются на вертикальных или горизоатальных платах по обе стороаы теплоотвода. Теплоотаод изготавлиааетоя отдально от кожуха блока. Охлаждеаие - естестаенная или принудителькая конвекция.

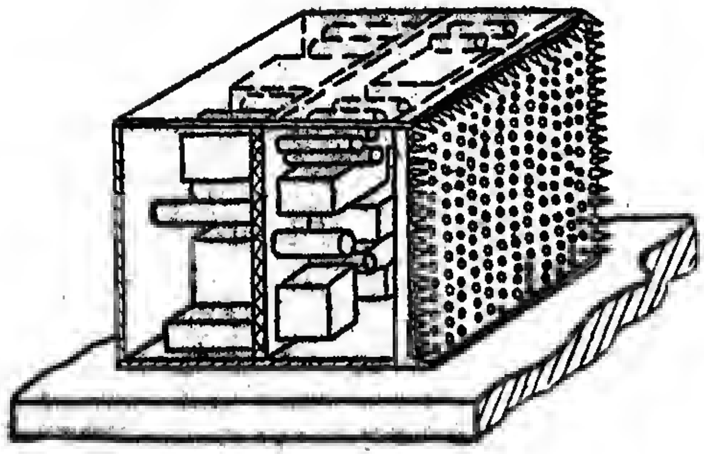
3.2. Тепловая модель блока с групповым теплоотводом учитывает наиболае сущестаанныа особенноотк конструкции аппарата и протекающих в аем процессов теплообмана.

3.2.I. Таплоаыа модели конструкций блоков типа I - 3 показаны аа черт. 2,4, 6.

3.2.2. При разработка тепловой модели сделаны следующие допущевия:

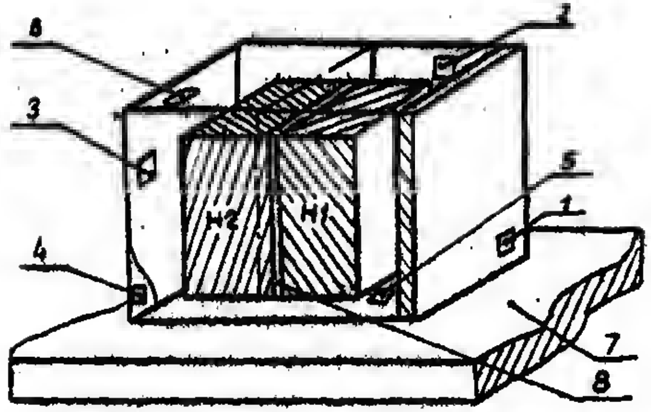
радиоэлементы, расположенные аа каждоЙ стороне платы, наваисимо от их размероа, объединены в отдельную тепловую зону;

2 тип блока с групповым теплоотводом



Черт. 3

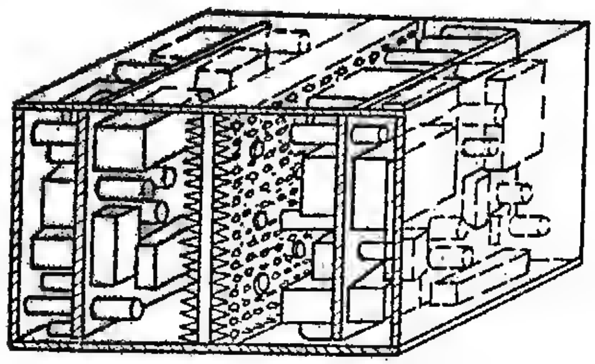
Тепловая модель блока 2 типа



I - теплоотвод групповой, 2-6 - стенки кожуха, 7 - "плата холодная", 8 - плата

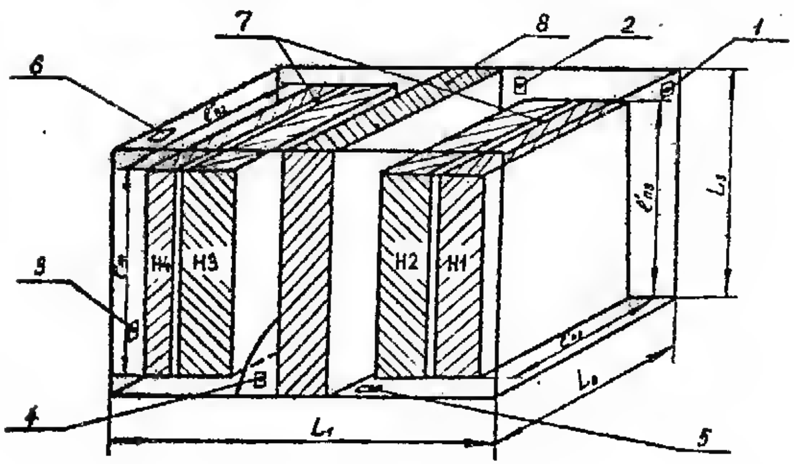
Черт.4

3 тип блока с групповым теплоотводом



Черт.5

Тепловая модель блока 3 типа



I-6 – стенки кожуха, 7 – платы, 8 – теплоотвод групповой

Черт. 6

поверхности каждой стенки кожуха и тепловой зоны изотермичны;

сложная форма нагретой зоны заменена прямоугольным параллелепипедом, расположенным по всей поверхности платы;

групповой теплоотвод с ИТ имеет изотермическую поверхность и форму прямоугольного параллелепипеда, высота которого равна высоте оребрения и толщине пластины.

3.2.3. Объем каждой нагретой зоны складывается из суммарного объема радиодеталей, конструктивных элементов и подводящих проводов, т.е. объем каждой нагретой зоны зависит от коэффициента заполнения этой части блока.

Линейные размеры нагретой зоны определяются геометрическими размерами платы, а высота определяется по формуле

$$h = \frac{\Sigma V_{pi} + \Sigma V_{npi}}{F_n} \qquad (3)$$

3.3. Рекомендации по конструктивному исполнению блоков с групповыми теплоотводами, влияющие на их тепловой режим, приведены в рекомендуемом приложении I.

4. ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

4.I. Определяют величину температуры ИП I типа по соотношению I

Мощность теплового рассеивания ИП I типа	=	Алгебраической сумме тепловых потоков ИП I типа за счет взаимодействия с другими ИП

4.2. Определяют величину температуры ИП второго типа по соотношению 2

Сумма тепловых потоков, уходящих с данной ИП 2 типа	=	Сумме тепловых потоков, приходящих к данной ИП от других ИП

4.3. Определяют расход охлаждающего воздуха для блоков в герметичном и перфорированном кожухах.

4.3.1. Для блоке с герметичным кожухом расход воздуха определяют по формуле

$$G_Г = \gamma_0 \frac{V_В(1-K_п)}{K_п}, \qquad (4)$$

где

$$K_п = \frac{L_1}{0{,}6\left(\frac{L_1}{L_2}+\frac{L_2}{L_3}-13{,}6\sqrt{\frac{\mu\lambda}{c_p\beta g\theta_c}}\,L_2\right)\times\sqrt{\frac{\lambda\rho\beta\theta_c}{\mu c_p}}\,L_3^{\frac{1}{4}}} \qquad (5)$$

4.3.2. Для блока с перфорированным кожухом расход воздуха при охлаждении естественной конвекцией определяют по формуле

$$G_{ек} = \mu S_1 \gamma_0 T_0 \sqrt{2g}\sqrt{\frac{\frac{h_1+h_2}{T_0}-\frac{h_1}{T_1}-\frac{h_2}{T_2}}{T_0+\left(\frac{S_1}{S_{ср}}\right)^2 T_{ср}+\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 T_{вых}}} \qquad (6)$$

где μ – коэффициент расхода (если имеются круглые отверстия, то $\mu = 0{,}65$);

S_1, S_2 – суммарная площадь отверстий для входа и выхода воздуха из блока, м^2;

$S_{ср}$ – "живое сечение" средней части блока, м^2;

h_1, h_2 – расстояние от середины блока до выходных и входных отверстий, м;

T_0 – начальная температура воздуха, К;

T_1, T_2 – средняя температура воздуха в нижней и верхней частях блока, К;

$T_{вых}$ – температура воздуха на выходе из блока, К;

$T_{ср}$ – средняя температура воздуха в блоке, К,

$$T_{ср} = \frac{T_1+T_2}{2};$$

γ_0 – удельный вес воздуха при T_0, кг/м^3.

4.3.3. Для блока с перфорированным кожухом расход охлаждающего воздуха при охлаждении принудительной конвекцией определяют по формуле

$$G = \gamma_0 F_{вх} W_{вх}, \qquad (7)$$

где $F_{вх}$ – площадь входных отверстий, м^2;

$W_{вх}$ – скорость охлаждающего воздуха, м/с.

4.4. Определяют среднюю температуру воздуха в блоке по соотношению

$$2c_p G \Delta T = \text{Алгебраической сумме тепловых потоков от изотермических поверхностей, омываемых охлаждающим воздухом}$$

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЛОКОВ С ГРУППОВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ

5.1. Методика позволяет рассчитывать температуру изотермических поверхностей и воздуха в блоке, т.е. определять требования к конструкции блока и параметрам охлаждающего воздуха.

5.2. Для расчета теплового режима блоков необходимы следующие исходные данные:

общая тепловая мощность, рассеиваемая в блоке, $P_{бл}$, Вт;

если блок имеет несколько нагретых зон, то необходимо знать тепловую мощность рассеивания каждой из них P_{3i}, Вт;

суммарная мощность, рассеиваемая радиоэлементами, расположенными на групповом теплоотводе, P_T, Вт;

основные размеры кожуха блока, определяющие его геометрическую конфигурацию, L_1, L_2, L_3, м;

геометрические размеры группового теплоотвода L, B, м;

размеры остальных конструктивных элементов блока и их расположения в нем $l_{1п}, l_{2п}, l_{3п}, l_{1н}, l_{2н} \ldots$, м;

коэффициент заполнения блока $K_з$;

коэффициенты заполнения отдельных частей блока, соответствующих различным нагретым зонам, $K_{31}, K_{32} \ldots K_{3i}$;

допустимая температура каждой нагретой зоны $T_{эн i}$, К.

Условия эксплуатации блока:

температура окружающей среды T_c (минимальная и максимальная), К;

давление окружающей среды Н (минимальное), Па;

начальная температура охлаждающего воздуха T_0, К.

5.3. Выбирают способ охлаждения блока в соответствии с ОСТ4 ГО.070.003, используя данные п. 5.2 настоящего стандарта.

5.4. В случае необходимости охлаждения принудительной конвекцией определяют требуемый расход охлаждающего воздуха в соответствии с ОСТ4 ГО.070.003, раздел 3, используя данные п.5.2 настоящего стандарта.

5.5. Определяют рабочие температуры нагретых зон, средние температуры стенок кожуха, среднюю температуру воздуха в блоке в зависимости от условий его охлаждения и конструкции.

5.5.1. За температуру нагретой зоны принимают минимальную из предельно допустимых температур элементов данной зоны.

5.5.2. Определяют температуру стенок кожуха по формуле

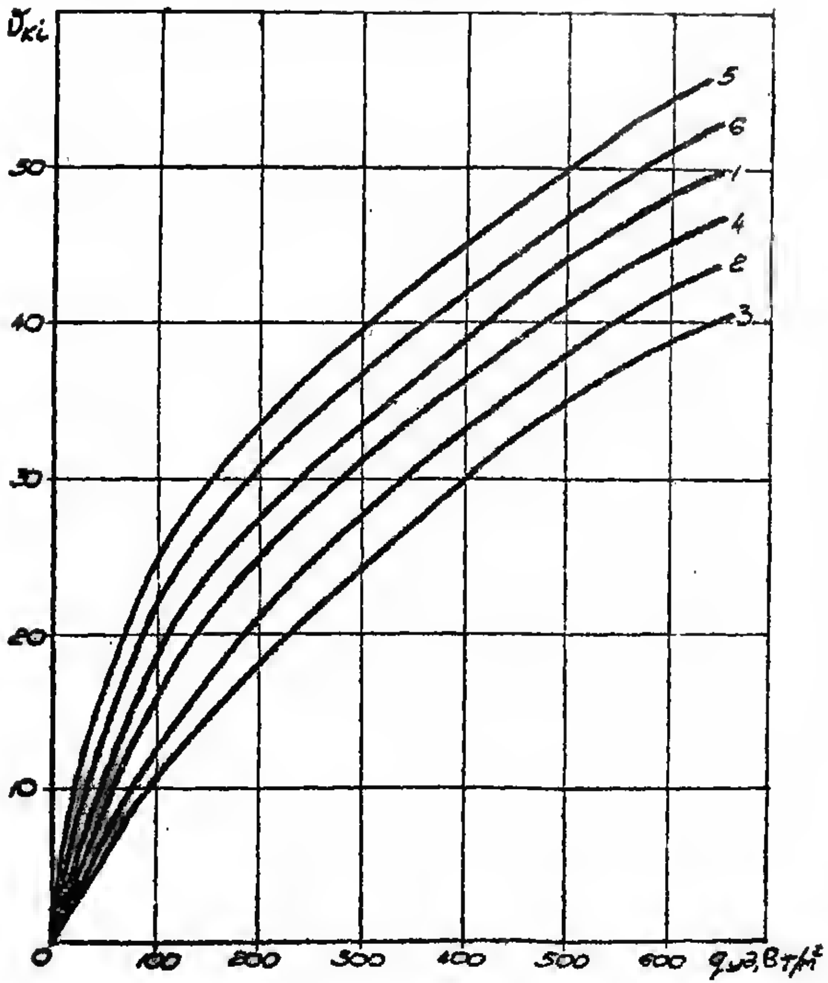
$$T_{ki} = (T_c + \vartheta_{ki}) K_H \cdot K_б , \qquad (8)$$

где ϑ_{ki} – перегрев i – й стенки кожуха относительно окружающей среды, К;

величину ϑ_{ki} определяют по графику черт. 7 в зависимости от удельной тепловой мощности блока $q_{уд}$

$$q_{уд} = \frac{P_{бл}}{\Sigma F_{ki}} ; \qquad (9)$$

Зависимость $\vartheta_{ki} = (q_{уд})$



1 - 6 - номера стенок кожуха блока

Черт.7

K_H - коэффициент зависимости теплообмена блока от атмосферного давления вне корпуса блока;

величину K_H определяют по графику черт. 8;

K_B - коэффициент зависимости теплообмена блока от перфорации стенок кожуха (для герметичного блока K_B=I);

величину K_B определяют по графику черт. 9 в зависимости от коэффициента перфорации $П$

$$П = \frac{S_B}{\Sigma F_{ki}}, \qquad (I0)$$

где S_B - площадь перфорационных отверстий, м^2.

5.5.3. Определяют температуру воздуха в блоке по формуле

$$T_B = T_c + 0,5\left(\frac{\Sigma T_{ki}}{n} + T_{Hj}\right), \qquad (II)$$

где n - число стенок кожуха, принимающих участие в теплообмене;

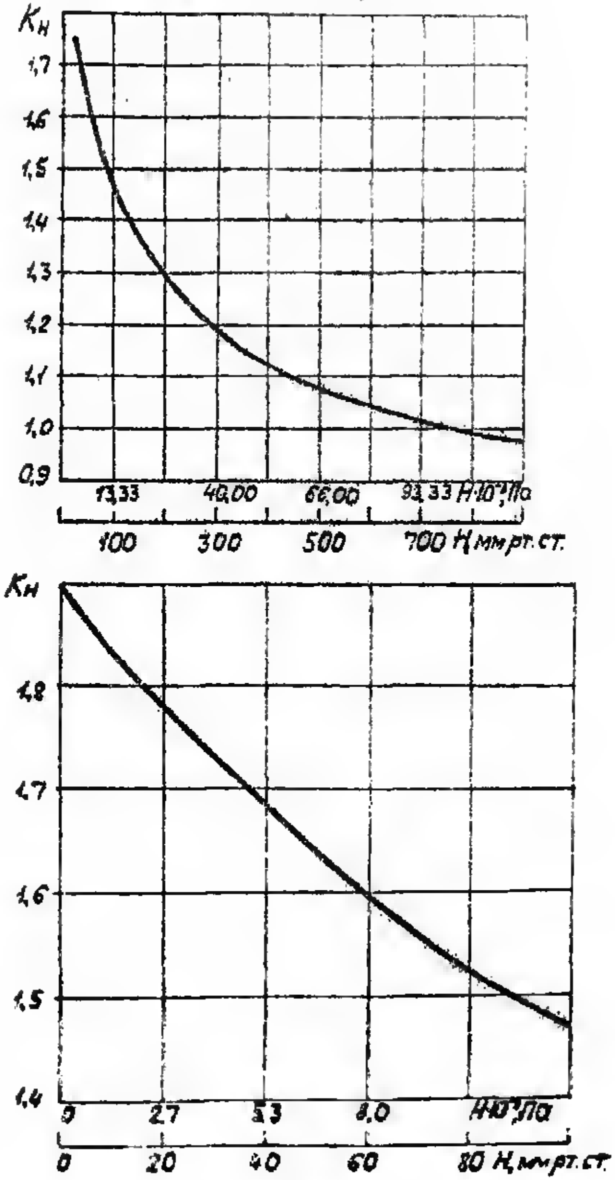
T_{Hj} - температура j-й нагретой зоны, К.

Величины, полученные по пп. 5.5.I-5.5.3, используют в качестве первого приближения.

5.6. Определяют коэффициенты теплового взаимодействия между воздухом и изотермическими поверхностями в соответствии с п. 2.4 настоящего стандарта, коэффициент кратности воздухообмена или расхода воздуха при необходимости - в соответствии с разделом 4 настоящего стандарта.

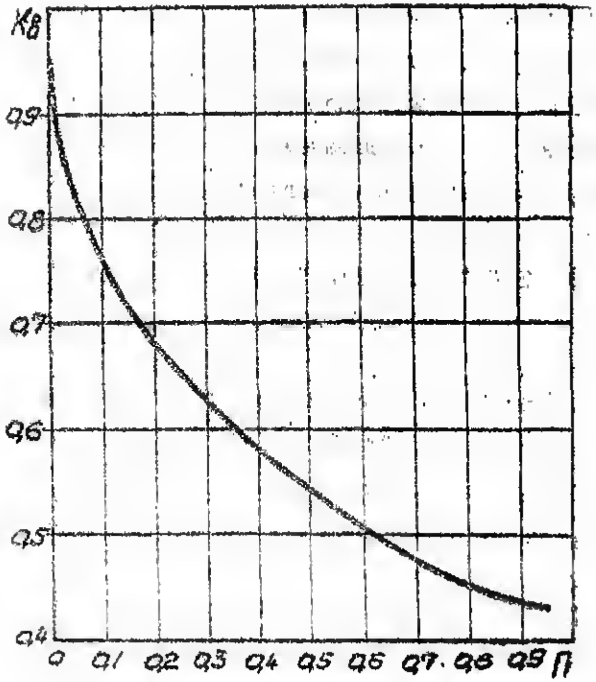
5.7. Составляют уравнения теплового баланса для всех изотермических поверхностей и охлаждающего воздуха, используя полученные в п. 5.6 значения коэффициентов теплового взаимодействия (пример составления уравнений приведен в рекомендуемом приложении 6).

Зависимость $K_H = f(H)$



Черт.8

Зависимость $K_в = f(П)$



Черт. 9

5.8. Полученные уравнения решают методом последовательного приближения относительно значений температур.

5.9. Определяют максимальную температуру группового теплоотвода, используя величины п.5.8, по методике раздела 6 настоящего стандарта или по ОСТ4 ГО.208.203.

Если полученная в результате расчета максимальная температура теплоотвода будет меньше допустимой температуры радиоэлементов, расположенных на нем, расчет окончен. Если максимальная температура теплоотвода окажется выше допустимой температуры расположенных на нем радиоэлементов, необходимо увеличить его размеры и повторить расчет согласно пп.5.3 - 5.8.

6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРУППОВОГО ИГОЛЬЧАТО-ШТЫРЕВОГО ТЕПЛООТВОДА

6.1. Конструкция группового игольчато-штыревого теплоотвода соответствует ОСТ4 ГО.865.000 в части геометрии штыря, за исключением габаритных размеров основания радиатора.

6.2. Расчет группового теплоотвода выполняют по методике, приведенной в ОСТ4 ГО.208.203, раздел 3 или в пп.6.5 и 6.6 настоящего стандарта.

6.3. Расчет $\alpha_{экв}$ проводят по методике, изложенной в рекомендуемых приложениях 2 и 3 настоящего стандарта.

6.4. В том случае, если между ИТ и теплоотводом необходимо установить электроизоляционную прокладку, $K_к$ рассчитывают по формуле

$$K_к = \frac{1}{F_{ит} R_\Sigma} , \qquad (12)$$

где R_Σ – суммарное тепловое сопротивление контактов между корпусом ИТ и пластиной при наличии электроизоляционной прокладки (К/Вт). Величина теплового сопротивления различных прокладок приведена в таблице рекомендуемого приложения I.

6.5. Для расчета группового теплоотвода с симметричным расположением ИТ необходимы следующие исходные данные:

6.5.I. Сведения об источниках тепла:

количество ИТ, устанавливаемых на групповом теплоотводе, M;

мощность, рассеиваемая каждым ИТ, P, Вт;

допустимая температура корпуса ИТ $t_{эл}$, К;

радиус ИТ R , м.

6.5.2. Сведения об условиях охлаждения:

максимальное значение температуры среды t_c , К;

скорость воздуха, поступающего к групповому теплоотводу, W, м/с.

6.5.3. Сведения о конструкции группового теплоотвода:

высота H_i, м;

толщина пластины δ, м.

6.6. Расчет температурного поля группового теплоотвода с симметричным расположением ИТ проводят в следующем порядке:

6.6.I. Определяют предварительные габариты, а также площадь теплоотвода F_i, необходимые для обеспечения теплового режима единичного ИТ, по методике ОСТ4 ГО.208.203, раздел 3.

6.6.2. Находят ориентировочную площадь теплоотвода для М источников

$$F_M = F_i \cdot M . \qquad (13)$$

6.6.3. По программе STAMI или RRADIA, приведенной в рекомендуемом приложении 4, рассчитывают температурное поле в прямоугольном параллелепипеде, соответствующем одной четверти теплоотвода.

Размеры рассматриваемой четверти теплоотвода:

$0 \leq x \leq xL;\ 0 \leq y \leq yL;\ z = zL,$

где xL – половина длины теплоотвода;

yL – половина ширины теплоотвода;

zL – толщина теплоотвода.

На всех поверхностях параллелепипеда задают условия теплообмена, характеризуемые числами Bi. Однако поскольку площадь поверхностей $x = xL$ и $y = yL$ мала, т.е. теплообмен этих поверхностей мал по сравнению с теплообменом поверхности $z = 0$, то им пренебрегают.

6.6.4. Определяют критерий Bi, характеризующий теплообмен на поверхности z (предполагают, что значения Bi для поверхностей $z = 0$ и $z = zL$ совпадают)

$$Bi = \frac{\alpha L}{\lambda} \cdot \frac{R}{L} = \frac{\alpha R}{\lambda}. \qquad (14)$$

Коэффициент теплообмена α определяют по методике рекомендуемого приложения 3.

6.6. . В программы вводят следующую информацию:

Bi – величина, характеризующая теплообмен на поверхности $z = 0$ (предполагают, что значения Bi для поверхностей $z = 0$ и $z = zL$ совпадают);

Bi_1 – величина, характеризующая теплообмен на границе $x = xL$;

Bi_2 – величина, характеризующая теплообмен на границе $y = yL$;

xL – половина длины теплоотвода, мм;

yL – половина ширины теплоотвода, мм;

R – радиус ИТ, мм;

Hz – толщина теплоотвода, мм;

H – шаг сетки;

AH – предполагаемое максимальное значение температуры ИТ, К;

PL – итерационный параметр выбирают в результате численных экспериментов, величина PL изменяется в пределах $0{,}75 \leq P_L \leq 1$;

EPUAS – задаваемая точность решения. Обычно задают EPUAS $= 10^{-4}$;

$\left.\begin{matrix}D_1\\D_2\end{matrix}\right\}{}^{x}_{y}$ – координаты центра первого источника, мм;

$\left.\begin{matrix}D_3\\D_4\end{matrix}\right\}{}^{x}_{y}$ – координаты центра второго источника, мм;

$\left.\begin{matrix}D_5\\D_6\end{matrix}\right\}{}^{x}_{y}$ – координаты центра третьего источника, мм;

$\left.\begin{matrix}D_7\\D_8\end{matrix}\right\}{}^{x}_{y}$ – координаты центра четвертого источника, мм;

$\left.\begin{matrix}D_9\\D_{10}\end{matrix}\right\}{}^{x}_{y}$ – координаты центра пятого источника, мм.

Примечания:

1. Задают координаты источников, расположенных только в расчетной области $x>0$, $y>0$.

2. Каждую из указанных величин перфорируют на отдельной карте, которую подкладывают в основной массив в соответствующем порядке между координатами EXECUTE и ENDFILE.

3. Решение двухмерной задачи удобно проводить на равномерных сетках. Для этого в программе предусмотрено задание величины H, при выборке которой должны выполняться неравенства

$$\frac{xL}{HR} < 100 \quad и \quad \frac{yL}{HR} < 100.$$

4. В том случае, когда количество ИТ, размещенных на четверти теплоотвода, меньше количества ИТ, заложенных в программу, на перфокартах, обозначающих координаты несуществующих источников, должны быть пробиты координаты одного из имеющихся источников.

Пример. На четаерти теплоотаода располагаются два ИТ с координатами $D_1 = 0,\ D_2 = 0$ и $D_3 = 50,\ D_4 = 0.$

В массив аеобходимо подложить перфокарты со следующими значениями :

$D_1 = 0$
$D_2 = 0$
$D_3 = 50$
$D_4 = 0$
$D_5 = 0$
$D_6 = 0$
$D_7 = 0$
$D_8 = 0$
$D_9 = 0$
$D_{10} = 0$

или

$D_1 = 0$
$D_2 = 0$
$D_3 = 50$
$D_4 = 0$
$D_5 = 50$
$D_6 = 0$
$D_7 = 50$
$D_8 = 0$
$D_9 = 50$
$D_{10} = 0$

6.7. Получив в результате расчета температураое поле теплоотаода и среднеинтегральную безразмерную температуру θ, необходимо переаести ее в размерную по формуле

$$T = \frac{P}{\pi L_z \lambda}\theta + T_o \quad . \qquad (15)$$

6.8. В том случае, если значения полученных температур ниже (выше) заданных, необходимо уменьшить (увеличить) габариты таплоотвода и повторить расчет.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ БЛОКОВ С ГРУППОВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ

1. Кожух блока должен иметь хороший коетакт с теплоотводом, поскольку в большинстве случеев его температура ниже температуры группового теплоотвода.

2. Металлический кожух изготавливают либо штамповкой, либо литьем. Групповой теплоотвод может быть самостоятельной коеструкцией или частью литого кожуха (черт. I,3,5 настоящего стандарта).

3. Отсутствие и недолив штырей групповых теплоотводов должны составлять не более 10%.

4. Изгиб штырей не должен превышать 0,001 м.

5. Чистоте поверхноств корпусов с теплоотводамв должне быть не ниже $\sqrt{R_z 40}$.

6. Покрытие кожуха в теплоотвода должно соответствовать требованиям эксплуатации, коэффициевт этого покрытия ε должев выбираться с учетом коэффициеетов и температуры поверхностй окружающих элементов и конструкций.

7. Оптимальную толщину штыря теплоотвода выбирают согласно ОСТ4 012.001.

8. Оптимальный шаг для определеной высоты штыря при вынужденной и естественной конвекции выбирают согласно ОСТ4 012.001.

9. Источники тепла размещают на групповом теплоотводе в соответствии с их функциональным назначением. Ширину B_i и длину L_i зоны каждого ИТ определяют по ОСТ4 ГО.208.203. Каждый ИТ устанавливают в центре его тепловой зоны.

10. Ввиду ухудшения теплосъема не рекомендуется применять игольчато-штыревой теплоотвод, в котором каждому ИТ соответствует тепловая зона с шириной B_i или L_i (по направлению потока охлаждаемого воздуха) более 0,150 м.

11. При установке источников тепла на групповом теплоотводе желательно размещать их в два или большее число рядов, распределяя ИТ так, чтобы ширина рядов и суммарная мощность ИТ в каждом ряду были равны.

12. При естественном охлаждении пластину теплоотвода устанавливают вертикально, а при принудительном – по потоку воздуха, т.е. поток охлаждающего воздуха должен быть направлен перпендикулярно оси штыря.

13. Для снижения теплового сопротивления контакта ИТ с теплоотводом контактная поверхность должна иметь шероховатость не ниже $\sqrt{2,5}$. Рекомендации по снижению теплового сопротивления контакта, а также требования к монтажу транзисторов на теплоотводе изложены в ОСТ4 012.001, ~~ОСТ4 ГО.865.002,~~ ОСТ4.865.002 (1)

Некоторые экспериментальные значения теплового сопротивления контакта с применением прокладок приведены в таблице.

Удельное тепловое сопротивление электроизоляционных прокладок для полупроводниковых приборов

Наименование прокладки	Толщина прокладки, мк	Удельное тепловое сопротивление прокладки $R_{уд}\cdot 10^4$, К·м²/Вт
Без прокладки		I,I4 – I,52
Без прокладки с пастой КТП-8		0,38 – 0,76

Продолжение

Наименование прокладки	Толщина прокладки, мк	Удельное тепловое сопротивление прокладки $R_{уд}\cdot 10^4$, $K\cdot м^2/Вт$
Без прокладки со смазкой ЦИАТИМ		I,I4 - I,33
Без прокладки со смазкой ПМС-200		I,I4
С однослойной слюдой без пасты КПТ-8 (флагопит, мусковит)	60 50 40 30	2,47 2,28 2,I3 I,72
Слюда двухслойная (2х30), (2х25), (2х20), (2хI5) без пасты	60 50 40 30	3,23 2,39 2,24 I,98
Слюда двухслойная (2х30), (2х25), (2х20), (2хI5) с пастой КПТ-8 между всеми контактными поверхностями	60 50 40 30	I,7I I,40 I,I4 0,95
Слюда однослойная с пастой КПТ-8 между всеми коатактными поверхностями	60 50 40 30	I,52 I,I4 I,03 0,85
Слюда маталлизированная без КПТ-8 с КПТ-8	 80 80	 4,I8 I,90
Триацетатная пленка с пастой КПТ-8	50	2,85
Триацетатная пленка без смазок одинарная и двойная (2х50)	50 70 100	7,60 9,50 I0,80

Продолжение

Наименование прокладки	Толщина прокладки, мк	Удельное тепловое сопротивление прокладки $R_{уд}\cdot 10^4$, $K\cdot м^2/Вт$
Капроновая сетка с пастой КПТ-8	35	9,I2
Капроновая сетка, два слоя (2хI3) с пастой КПТ-8	26	4,I8
Капроновая сетка с пастой КПТ-8	I50	7,80
Лавсановая сетка с пастой КПТ-8	200	7,98
Полиарелатная пленка с пастой КПТ-8	50	4,56
Эматолирование контактной поверхности теплоотвода без пасты, толщина слоя	~500	4,94
Алюминиевая прокладка, глубоко оксидированная, без пасты КПТ-8	500 I000	7,22 8,75
Алюминиевая прокладка, глубоко оксидированная, с ПМС-200	I000	3,42
Алюминиевая прокладка, глубоко оксидированная, с пастой КПТ-8	500 I000	3,04 3,42
Алюминиевая прокладка, глубоко анодированная (В-95), с пастой КПТ-8	800	3,80
Брокарит 9 (97% окиси бериллия, 3% связующего по весу) без пасты КПТ-8	2000	6,84

Продолжение

Наименование прокладки	Толщина прокладки, мк	Удельное тепловое сопротивление прокладки $R_{уд} \cdot 10^4$, $К \cdot м^2/Вт$
Лавсановая сетка, менее	10	4,34
Пленка Ф4, менее	10	3,67
Лавсан с приложенной с двух сторон фольгой		2,45
Лавсан с приклеенной с двух сторон фольгой		1,92
Без прокладки, поверхность теплоотвода хим.окс.фос, лак УР-231		6,85
Без прокладки, поверхность теплоотвода хим.окс.фос, лакокрасочное покрытие		7,00
Без прокладки, поверхность теплоотвода хим.окс.фос, эмаль "Белая ночь"		7,60
Без прокладки поверхность теплоотвода хим.окс.фос, ВЛ-725		1,90

Примечание. Данные относятся к следующим условиям:
давление и влажность окружающей среды - нормальные;
чистота поверхностей контакта $\nabla^{1,6} - \nabla^{0,8}$;
~~усилие~~ момент затяжки винтов крепящего фланца ~~(2 шт.)~~
~~6—8~~ 1,5-4,0 кг·см;
температура в зоне контакта 323 - 393 К.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ

Теплообменная поверхность игольчато-штыревого теплоотвода представляет собой набор повторяющихся элементов, шаг, высота и средний диаметр штыря которых взаимосвязаны. На чертеже показан игольчато-штыревой теплоотвод и его единичный элемент.

Конфигурация оребрения группового игольчато-штыревого теплоотвода соответствует ОСТ4 012.001 и ОСТ4 ГО.865.000, т.е. расположение штырей - коридорное, продольный и поперечный шаги равны.

Эквивалентный коэффициент теплоотдачи, который обеспечивает теплообменная поверхность, определяют по формуле

$$\alpha_{экв} = \frac{\alpha_p F_p}{F_{осн}}, \qquad (1)$$

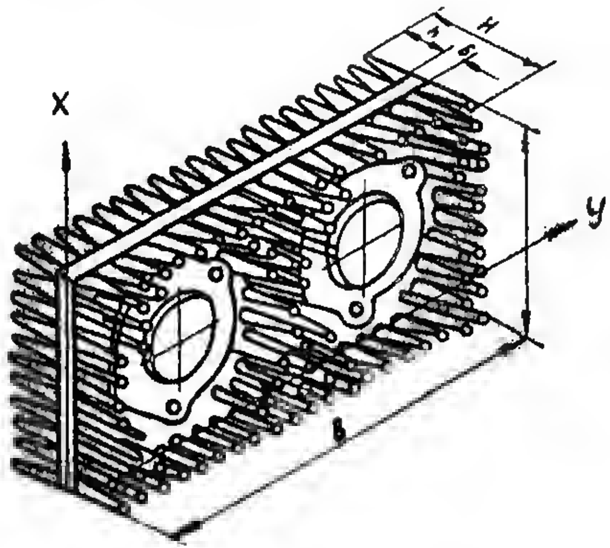
где α_p - общий коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода, включающий в себя конвективную и лучистую составляющие, Вт/м²·град, т.е.

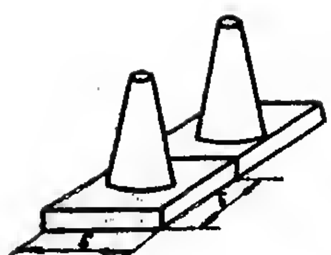
$$\alpha_p = \alpha_{pк} + \alpha_{pл} ; \qquad (2)$$

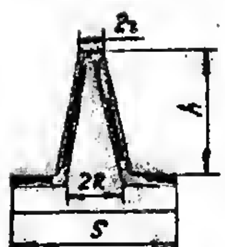
F_p - полная теплообменная поверхность, состоящая из поверхности штырей и основания пластины, свободной от штырей, м²;

$F_{осн}$ - площадь пластины без штырей, м².

Групповой теплоотвод и его единичный участок







Если предварительные габариты теплоотвода неизвестны и учитывая, что игольчато-штыревой теплоотвод состоит из повторяющихся единичных элемеатов, $\alpha_{экв}$ определяют по формуле

$$\alpha_{экв} = \frac{\alpha_p \cdot F_{ед.p}}{F_{ед.осн.}}, \qquad (3)$$

где $F_{ед.p}$ – полная теплообменная поверхность единичного элемеата теплоотвода, состоящая из поверхности одного штыря и поверхности основания пластины, не занятой основанием штыря, м^2 (см. чертеж);

$F_{ед.осн.}$ – площадь единичной пластины без штырей, сторона которой равна принятому шагу штырей, м^2.

Если групповой игольчато-штыревой теплоотвод является стенкой или перегородкой блока, т.е. в теплообмене с окружающей средой принимают участие обе стороны радиатора, то

$$\alpha_{экв} = \alpha_{экв.1} + \alpha_{экв.2}, \qquad (4)$$

где $\alpha_{экв.1}, \alpha_{экв.2}$ эквивалентные коэффициенты теплоотдачи каждой стороны теплоотвода, причем, если оребрение двухстороннее $\alpha_{экв.1} = \alpha_{экв.2}$ если одна сторона гладкая, то $\alpha_{экв.2} = \alpha_п$.

Критериальные зависимости для расчета коэффициентов теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода α_p и гладкой пластины $\alpha_п$ для заданных условий охлаждения и эксплуатации, а также значения отдельных параметров игольчато-штыревого теплоотвода, используемые для теплового расчета ($F_{ед.p}$, $F_{ед.осн}$, h, S и т.д.), приведены в реномендуемом приложении 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООБМЕНА

В настоящем приложении приведены критериальные зависимости для расчета теплообмена штыревой и гладкой поверхностей для следующих условий охлаждения и эксплуатации блоков РЭА:

естественного;

принудительного;

в условиях разряжения;

в условиях механических и акустических вибраций.

Кроме того, приведены эмпирические зависимости для расчета лучистого коэффициента теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода с заданными геометрическими размерами оребрения.

I. Теплообмен оребренной или гладкой поверхностей при различных условиях охлаждения определяется критериальными зависимостями:

$$Nu = c\,(Gr \cdot Pr)^n \qquad (I)$$

для естественной конвекции

и $$Nu = c\,Re^n \qquad (2)$$

для принудительной конвекции.

Поскольку

$$Nu = \frac{\alpha_{pк} L_{опр}}{\lambda_в}, \qquad (3)$$

конвективный коэффициент теплообмена

$$\alpha_{pк} = \frac{Nu \cdot \lambda_в}{L_{опр}}. \qquad (4)$$

В формулах (I) – (4)

$$Gr = \frac{g\, L_{опр}^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t, \qquad (5)$$

$$Re = \frac{w \cdot L_{опр}}{\nu}, \qquad (6)$$

$$Pr = \frac{\nu}{a}. \qquad (7)$$

В формулах (I) – (7)

c, n – постоянные коэффициенты, характеризующие закон теплообмена;

$\alpha_{pк}$ – конвективный коэффициент теплоотдачи теплообменной поверхности, Вт/м^2·К;

$L_{опр}$ – определяющий размер теплообменной поверхности, м;

$\lambda_в$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·К;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м^2/с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

Δt – перегрев поверхности теплообмена относительно окружающего (охлаждающего) воздуха, К;

β – коэффициент объемного расширения воздуха, I/К;

w – скорость набегающего на теплообменную поверхность воздуха, м/с;

a – коэффициент температуропроводности воздуха, м^2/с.

2. Физические константы воздуха ($\lambda_в, \nu, \beta, a, Pr$) в формулах (I) – (7) определяют для средней температуры воздуха

$$t_m = \frac{t_s + t_{o.c}}{2}, \qquad (8)$$

где t_s – среднеповерхностная температура теплоотвода, К;

$t_{ос}$ – температура окружающей среды, К.

Для игольчато-штыревой поверхности теплообмена в качестве определяющего размера выбрана величина $d_{усл}$.

Величина $d_{усл}$ равна отношению всей омываемой воздухом поверхности единичного элемента к полупериметру его основания (см. чертёж рекомендуемого приложения 2)

$$d_{усл} = \frac{F_{эл}}{1/2\,U} = \frac{S^2 - \pi(R^2 - r^2) + \pi(R+r)\sqrt{h^2+(R-r)^2}}{2S}, \quad (9)$$

где S – шаг штырей, м;

h – высота штыря, м;

R, r – радиусы нижнего и верхнего оснований штыря, м.

Величиной $d_{усл}$ в формулах теплообмена учитывают изменение геометрических размеров игольчато-штыревой поверхности: высоты, толщины, шага штырей.

Для гладкой пластины за определяющий размер принята длина стороны пластины в направлении движения охлаждающего воздуха.

3. Для условий охлаждения естественной конвекцией при давлении окружающего воздуха не ниже 66661 Па (500 мм рт.ст) конвективный коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода рассчитывают по формуле (4),

где

$$Nu = 0{,}4\left(\frac{S}{d_{усл}}\right)^{1,28} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,46} \quad (10)$$

$$\text{при } 5 \cdot 10 < Gr \cdot Pr < 5 \cdot 10^3.$$

По графикам черт. I и 2 определяют $\alpha_{рк}$ в зависимости от Δt для некоторых значений геометрических размеров элементарного участка игольчато-штыревого теплоотвода.

Конвективный коэффициент теплоотдачи для гладкой пластины при нормальном атмосферном давлении определяют по формуле

$$\alpha_{пк} = \frac{Nu \cdot \lambda_в}{L_{опр}}, \quad (11)$$

где $Nu = 0{,}45$ при $Gr \cdot Pr < 10^{-3}$; (I2)

$Nu = 0{,}18\,(Gr \cdot Pr)^{0,125}$ при $10^{-3} \le Gr \cdot Pr < 500$; (I3)

$Nu = 0{,}54\,(Gr \cdot Pr)^{0,25}$ при $500 \le Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$; (I4)

$Nu = 0{,}135\,(Gr \cdot Pr)^{0,33}$ при $Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$. (I5)

Графики для подбора эквивалентного коэффициента теплоотдачи гладкой пластины приведены в ОСТ4 ГО.208.203, приложение 2.

Для пластины, обращенной теплоотдающей поверхностью вверх, $\alpha_{пк}$ увеличивают на 30%; для пластины, обращенной теплоотдающей поверхностью вниз, $\alpha_{пк}$ уменьшают на 30%.

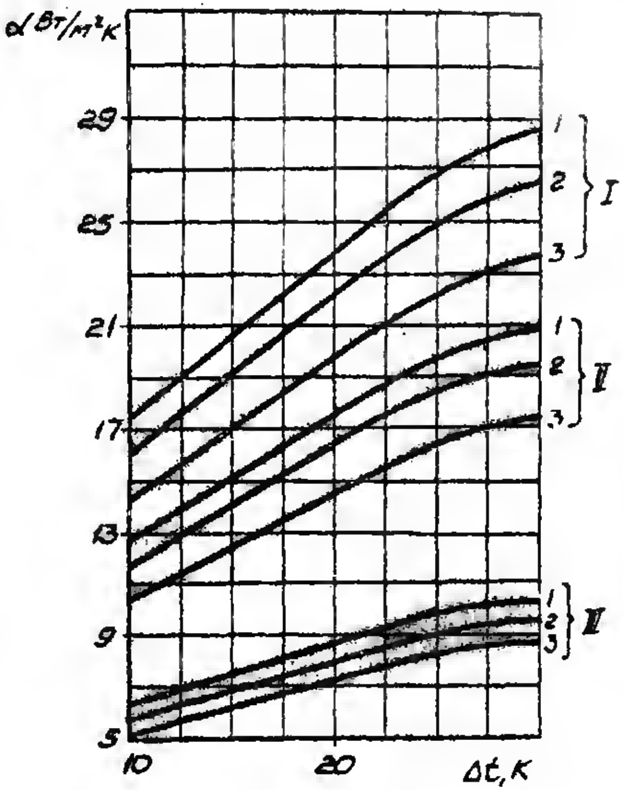
4. Для условий охлаждения естественной конвекцией и пониженного атмосферного давления конвективный коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода $\alpha_{рк}$ рассчитывают по формуле (4),

где

$$Nu_н = 1{,}16\left(\frac{d_{усл}}{S}\right)^{0,3} (Gr\,Pr)^{0,121} \quad (I6)$$

$$\text{при } 10^{-6} < Gr\,Pr < 10^2.$$

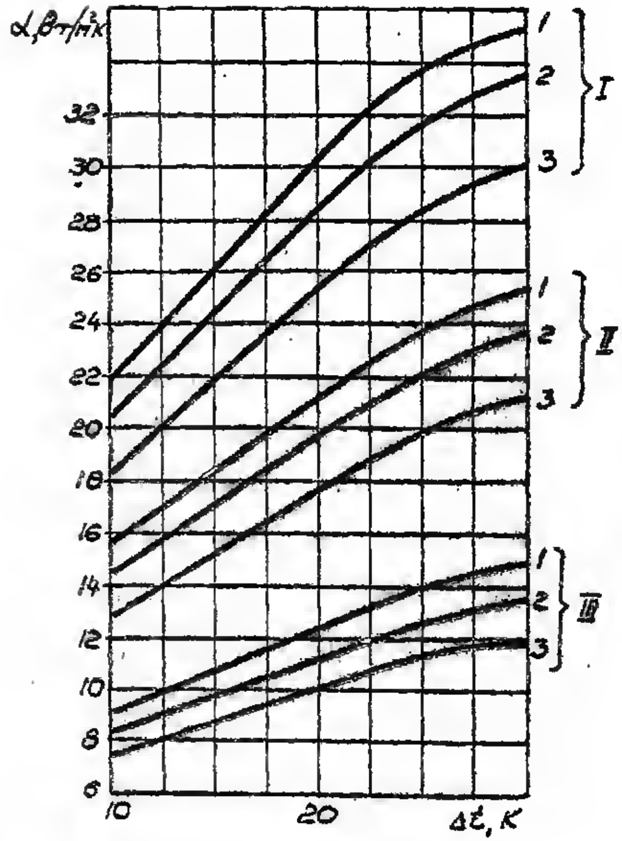
Зависимость $\alpha_{рк} = f(\Delta t)$, $h = 0{,}0125$ м



Значения S : I - 0,009; II - 0,007; III - 0,005
Значения t_m : 1 - 303; 2 - 323; 3 - 353

Черт. I

Зависимость $\alpha_{рк} = f(\Delta t)$; $h = 0{,}015$ м



Значения S : I - 0,009; II -0,007; III - 0,005
Значения t_m : 1 - 303; 2 - 323; 3 - 353

Черт. 2

Формула (I6) справедлива для давлений от 6666I до I333,2 Па (от 500 до I0 мм рт.ст.). По графикам черт. 3-8 определяют α_{pk} для условий пониженного давления при естественной конвекции.

При более низком давлении от I333,2 до I,33 Па (от I0 до 10^{-2} мм рт.ст.) теплообмен игольчато-штыревого теплоотвода с окружающим воздухом соответствует режиму чистой теплопроводности. Ориентировочно можно считать, что Nu в этой области численно равен Nu_H при давлении до I333,2 Па (I0 мм рт.ст.).

При давлениях ниже I,33 Па (10^{-2}мм рт.ст.), когда длина свободного пробега молекул воздуха соизмерима с размерами охлаждаемого тела (диаметром штырей), появляются эффекты скольжения и температурного скачка. Для учета этого эффекта в определение Nu вводится число Kn :

$$Nu_{ск} = \frac{1}{\frac{1}{Nu_0} + C_2 Kn}, \qquad (I7)$$

где Nu_0 - значение для условий плотного газа, определяемое по формулам (I0) и (I6), при H = I0I324,72 Па (760 мм рт.ст.);

C_2 - постоянная, определяемая зависимостью

$$C_2 = 2\,\frac{2-a_a}{a_a}\cdot\frac{\gamma}{\gamma+1}\cdot\frac{1}{Pr}; \qquad (I8)$$

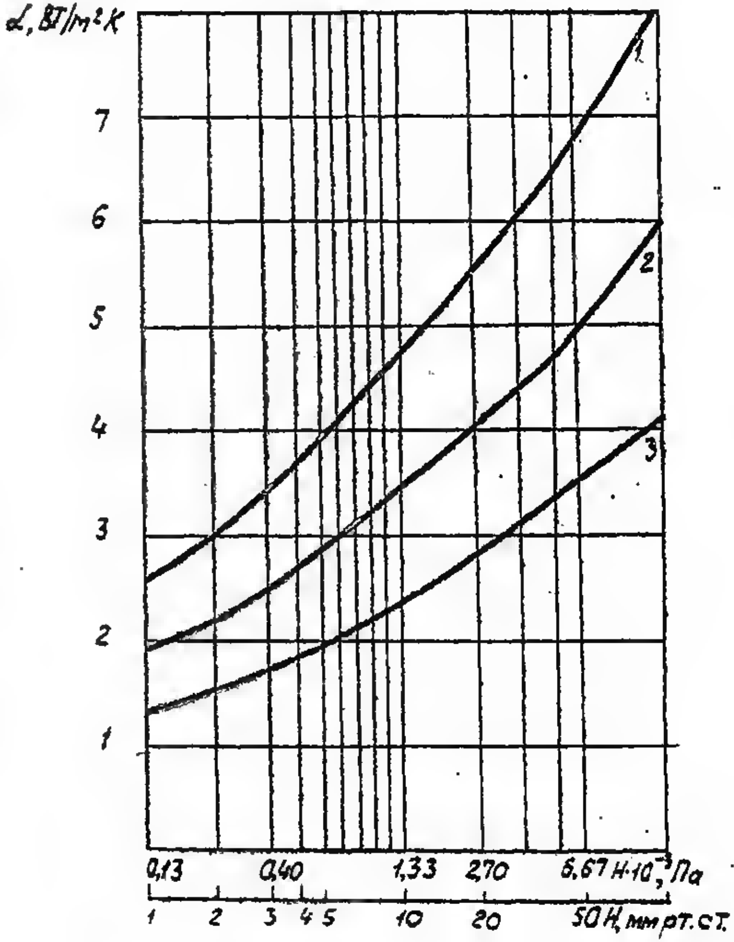
a_a - коэффициент аккомодации; для игольчато-штыревого теплоотвода a_a = 0,705;

γ - отношение удельных теплоемкостей $\frac{C_p}{C_v}$; для воздуха γ = I,403;

Зависимость $\alpha_{pk} = f(H)$,

H до $1,33\cdot10^4$ Па (I00 мм рт.ст.); Δt = I0 К;

t_m =303 К; h = 0,032 м



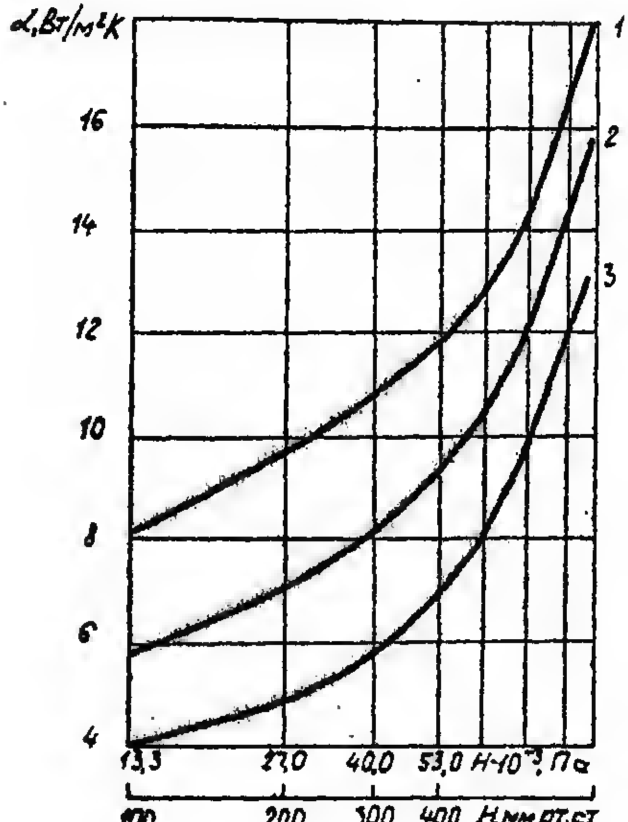
Значения S : I-0,005; 2-0,007; 3-0,009

Черт. 3

Зависимость $\alpha_{рк} = f(H)$,

H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); Δt = 10 К; t_m = 303 К ;

h = 0,032 м



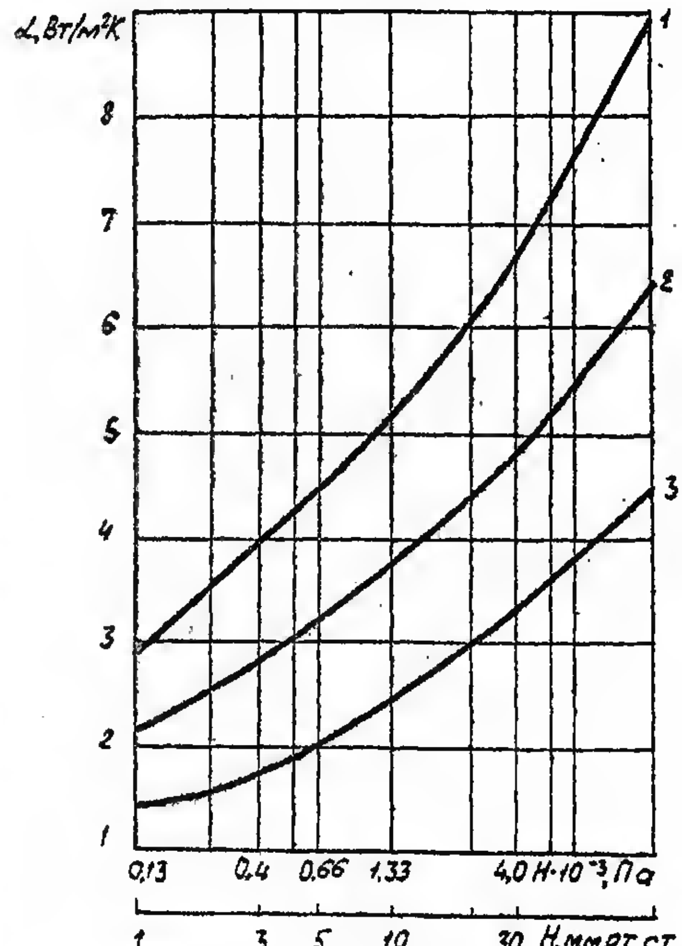
Значения S : 1–0,005; 2–0,007; 3–0,009

Черт. 4

Зависимость $\alpha_{рк} = f(H)$,

H до $1{,}33 \cdot 10^4$ Па (100 мм рт.ст.); Δt = 20 К; t_m = 303 К;

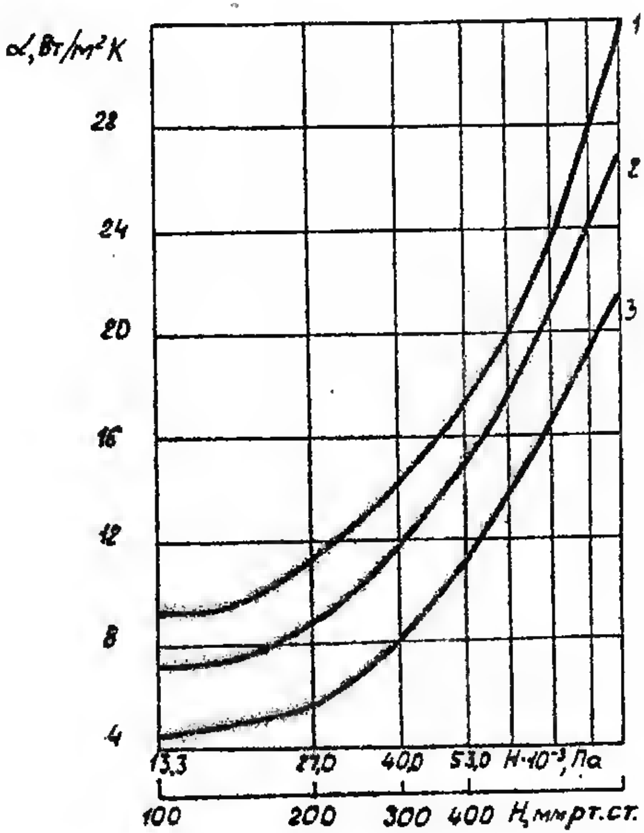
h = 0,032 м.



Значения S : 1–0,005; 2–0,007; 3–0,009

Черт. 5

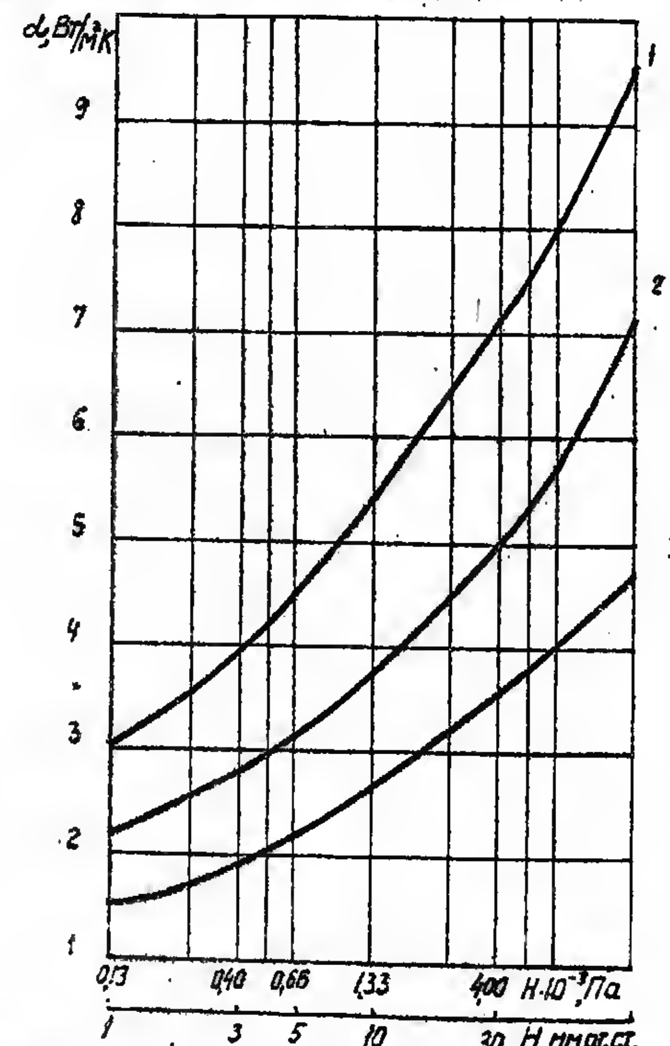
Зависимость $\alpha_{рк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 20$ К; $t_m = 303$ К;
$h = 0{,}032$ м



Значения S : 1-0,005; 2-0,007; 3-0,009

Черт. 6

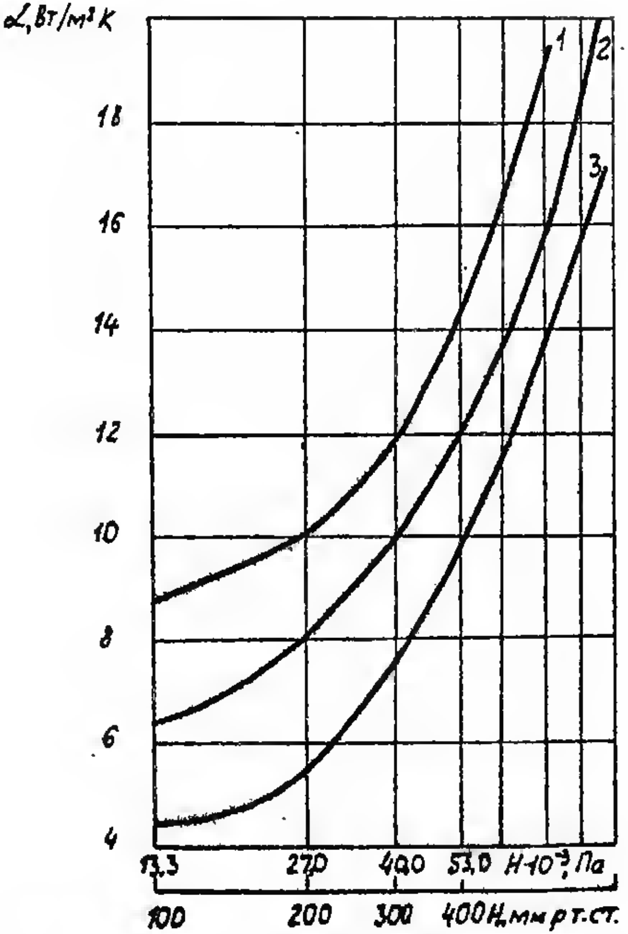
Зависимость $\alpha_{рк} = f(H)$,
H до $1{,}33 \cdot 10^4$ Па (100 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 303$ К; $h = 0{,}032$ м



Значения S : 1-0,005; 2-0,007; 3-0,009

Черт. 7

Зависимость $\alpha_{рк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.) ; $\Delta t = 30$ К; $t_m = 303$ К;
$h = 0{,}032$ м



Значения δ : 1-0,005; 2-0,007; 3-0,009

Черт. 8

для игольчато-штыревого теплоотвода величина $C_2 = 2{,}9$;

$$Kn = \frac{L_m}{d_{усл}}, \qquad (19)$$

где L_m - длина свободного пробега молекул, м,

$$L_m = \frac{1}{\sqrt{2}\,\pi n \delta^2}, \qquad (20)$$

где δ - диаматр молекулы воздуха (принят постоянным)

$$\delta = 3{,}78 \cdot 10^{-8} \text{ см};$$

n - число молекул в 1 см³ воздуха в зависимости от плотности воздуха и его температуры

$$n = \frac{H}{KT}, \qquad (21)$$

где H - давление, бар;

k - постоянная Больцмана

$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-16} \frac{эрг}{K};$$

T - температура пограничного слоя, К.

Для игольчато-штыревого теплоотвода с принятыми геометрическими размерами (ОСТ4 ОI2.00I, ОСТ4 ГО.865.000) область наличия скачка и скольжения соответствует значению $3 \cdot 10^{-2} < Kn < 7 \cdot 10^{-1}$, при этом $L_m = 3 \cdot 10^{-2} \div 8 \cdot 10^{-1}$ см, а характеристический размер системы - $4 \cdot 10^{-1} < d_{усл} < 1{,}2$ см.

Для условий естественной конвекции и пониженного до 133,322 Па (1 мм рт.ст.) атмосферного давления конвективный коэффициент теплоотдачи гладкой пластины $\alpha_{пк}$ рассчитывают по

формуле

$$\alpha_{пк} = \alpha_{пк_0} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{0,5}, \qquad (22)$$

при этом $10^3 \leq (Gr \cdot Pr)_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^{0,5} \leq 10^9$, $\alpha_{пк_0}$ рассчитывают по одной из формул (II-I5).

Для давления ниже $H \leq$ 133,322 Па (I мм рт.ст.) средний коэффициент теплообмена $\alpha_{пк}$ рассчитывают с помощью зависимости

$$\alpha_{пк} = 0,55 \cdot \frac{\lambda_0}{H} (Gr \cdot Pr)_0^{\frac{1}{4}} \left(\frac{H}{H_0}\right)^{\frac{1}{2}} (1+BKn)^{\frac{1}{4}} (1+A \cdot Kn)^{-\frac{5}{4}}, \qquad (23)$$

при этом $10^3 \leq (Gr \cdot Pr)_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^2 (1+B \cdot Kn)(1+AKn) \leq 10^9$,

где

$$B = \frac{2-f}{f}; \qquad (24)$$

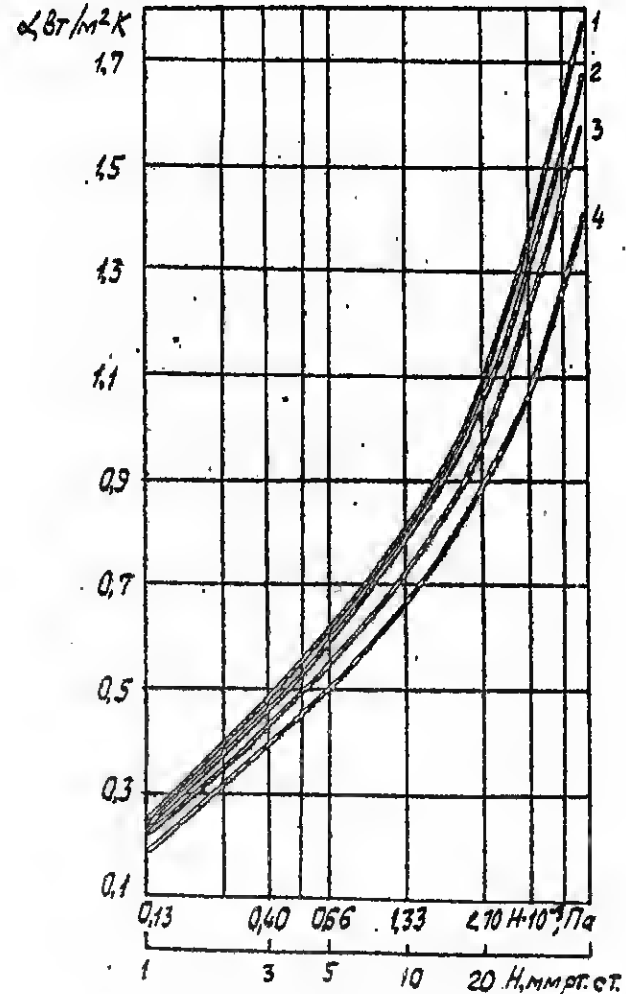
$$A = \frac{9k_0 - 5}{2(k_0+1)} \cdot \frac{(2-a_a)}{a_a}; \qquad (25)$$

f – коэффициент обмена тангенциальным количеством движения молекул газа и поверхности (для воздуха и металлических поверхностей f = I);

a_a – коэффициент аккомодации (для алюминиевой пластины a_a = 0,87 – 0,97).

По графикам черт. 9-26 определяют $\alpha_{пк}$ в зависимости от степени разрежения при естественной конвекции.

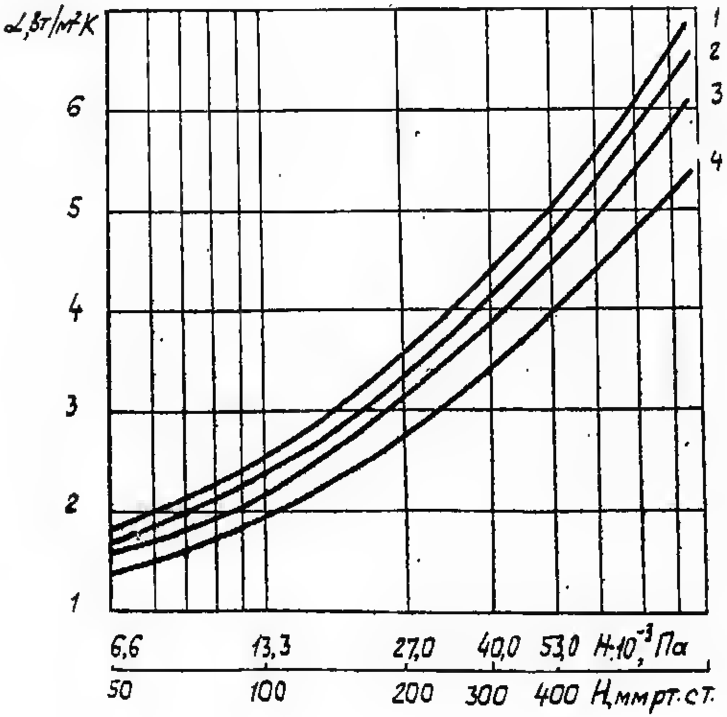
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $6,7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); Δt = 10 К; t_m = 303 К



Значения L : I–0,0I25; 2–0,0I5; 3–0,020; 4–0,072

Черт. 9

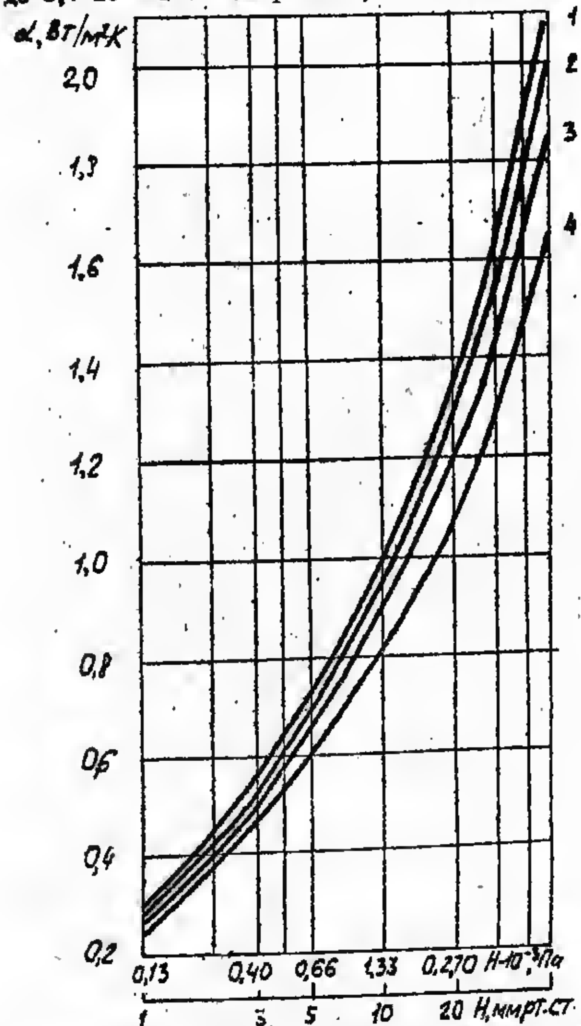
Зависимость $\alpha_{пк} = f$ (H),
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); Δt = 10 К; t_m = 303 К



Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 10

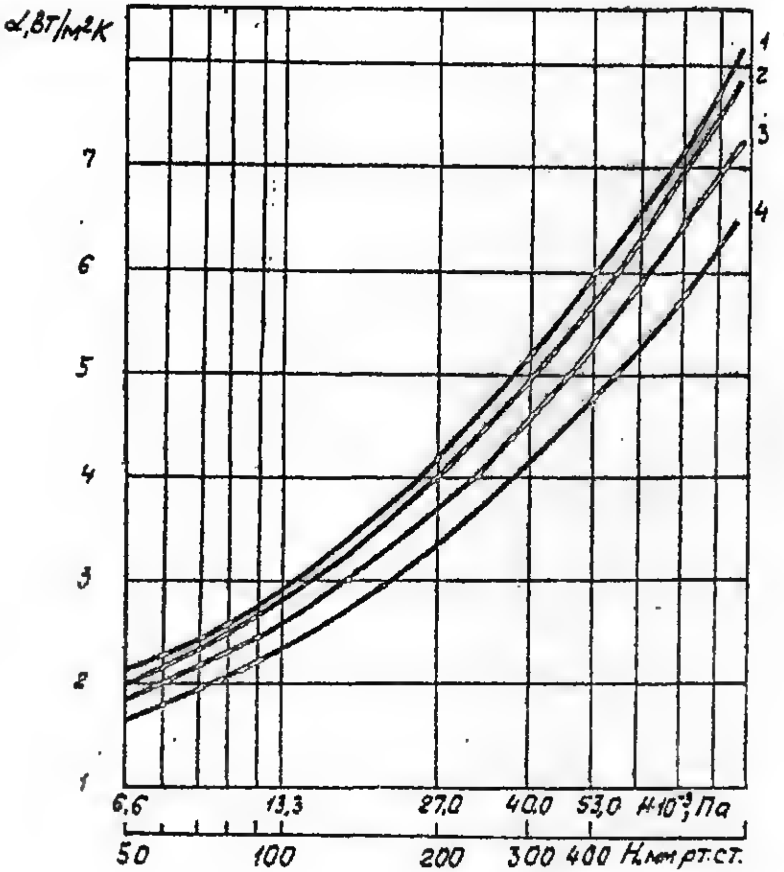
Зависимость $\alpha_{пк} = f$ (H),
H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); Δt = 20 К; t_m = 303 К



Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт.11

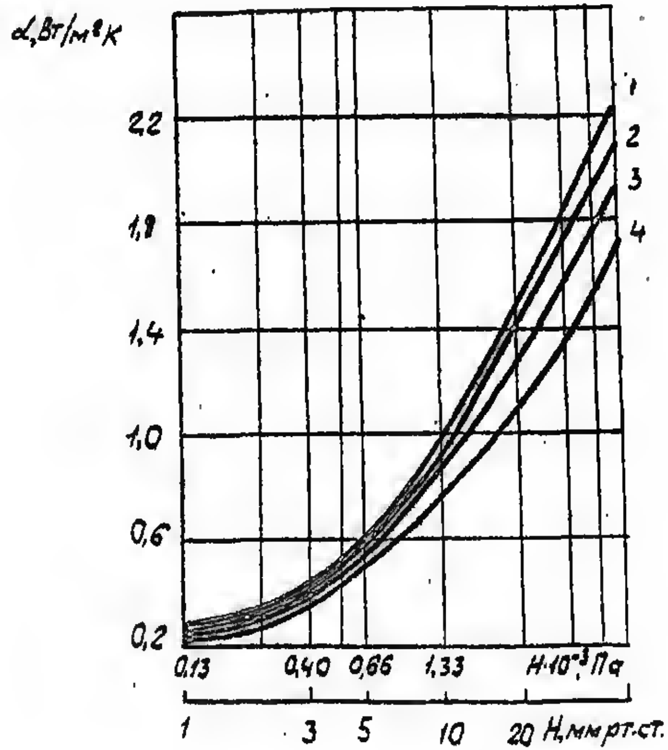
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 20$ К; $t_m = 303$ К



Значения L : I-0,0I25; 2-0,0I5; 3-0,020; 4-0,032

Черт. I2

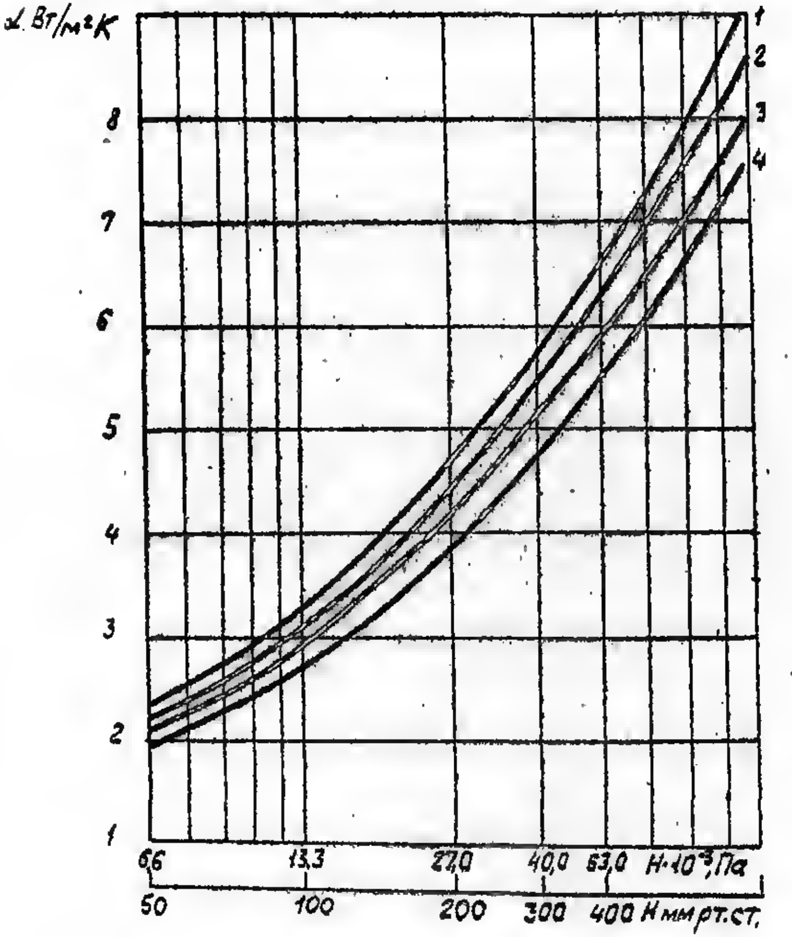
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 303$ К



Значения L ; I-0,0I25; 2-0,0I5; 3-0,020; 3-0,032

Черт. I3

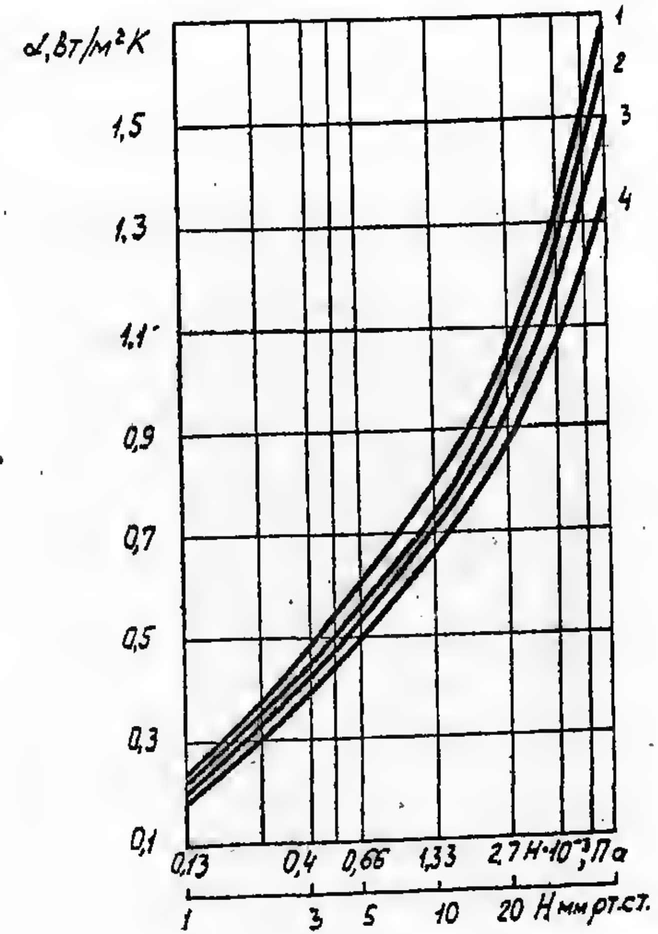
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 303$ К



Значения L : I-0,0I25; 2-0,0I5; 3-0,020; 4-0,032

Черт. I4

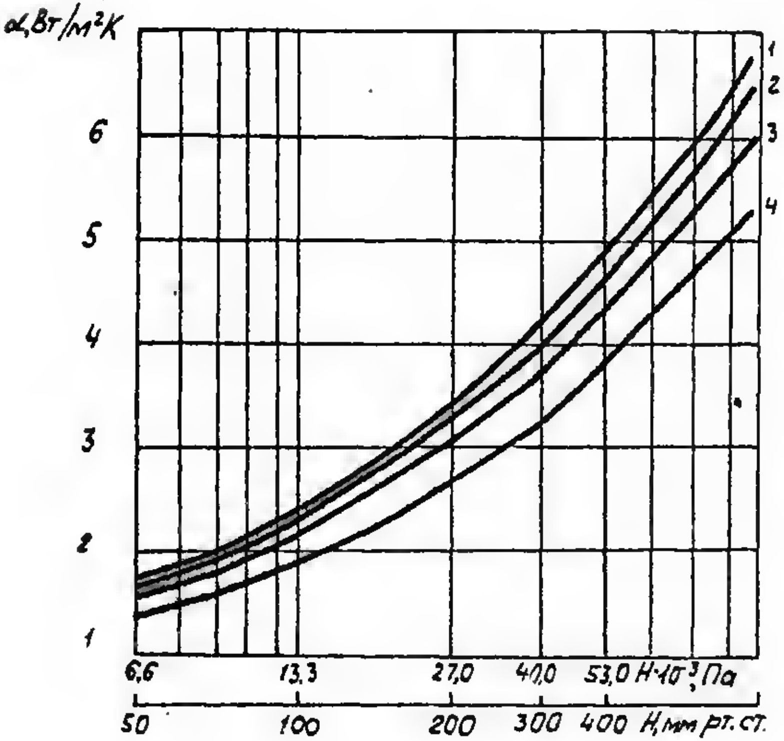
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); $\Delta t = 10$ К; $t_m = 323$ К



Значения L : I-0,0I25; 2-0,0I5; 3-0,020; 4-0,032

Черт. I5

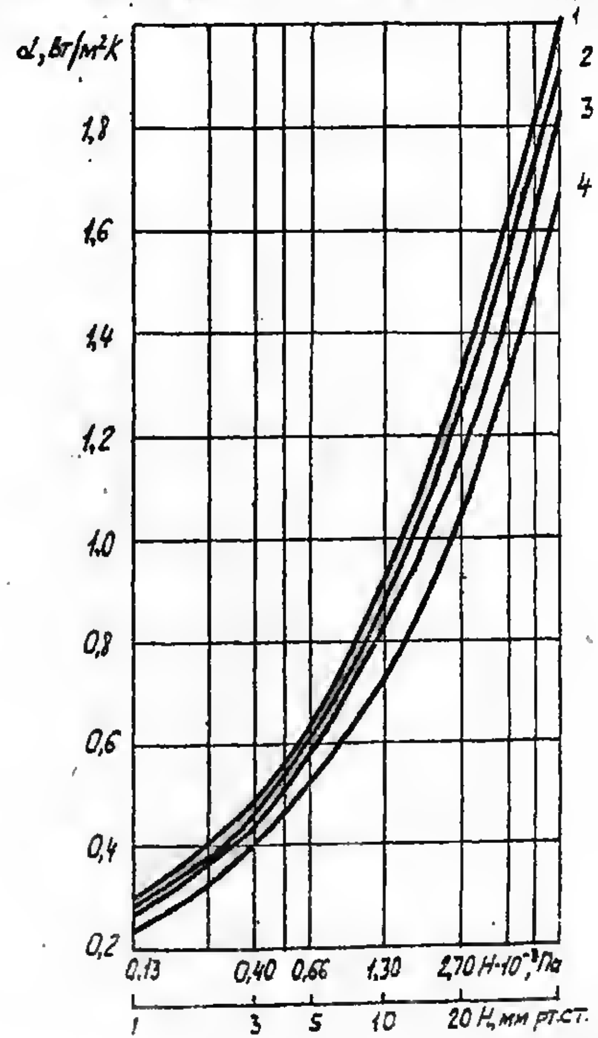
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); Δt = 10 К; t_m = 323 К



Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 16

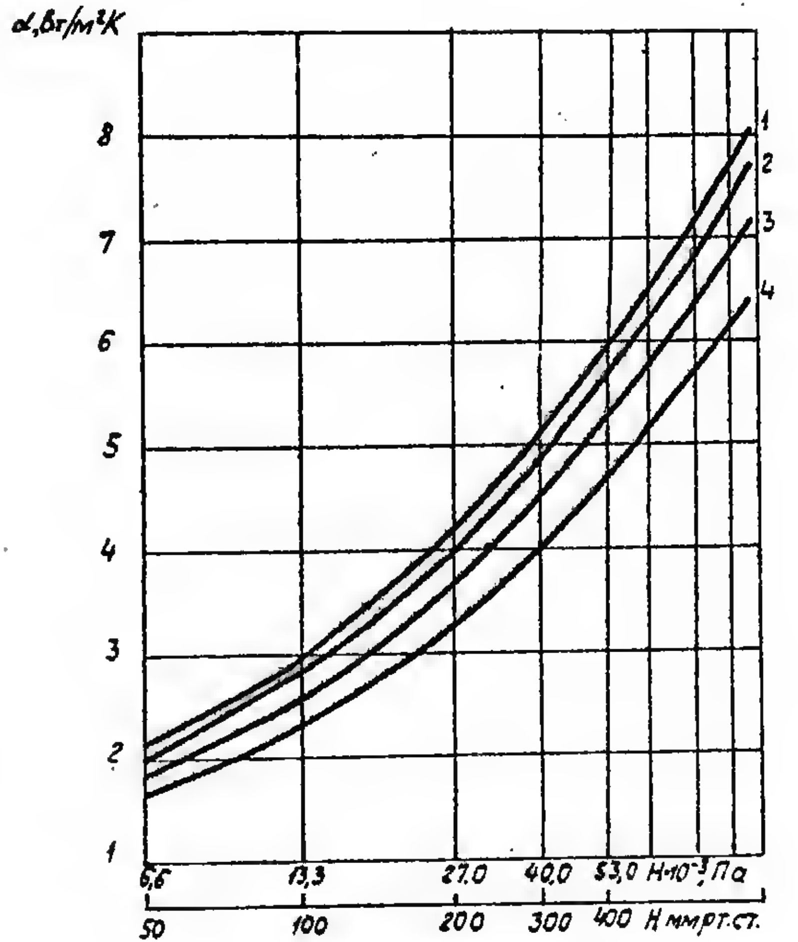
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); Δt = 20 К; t_m = 323 К



Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 17

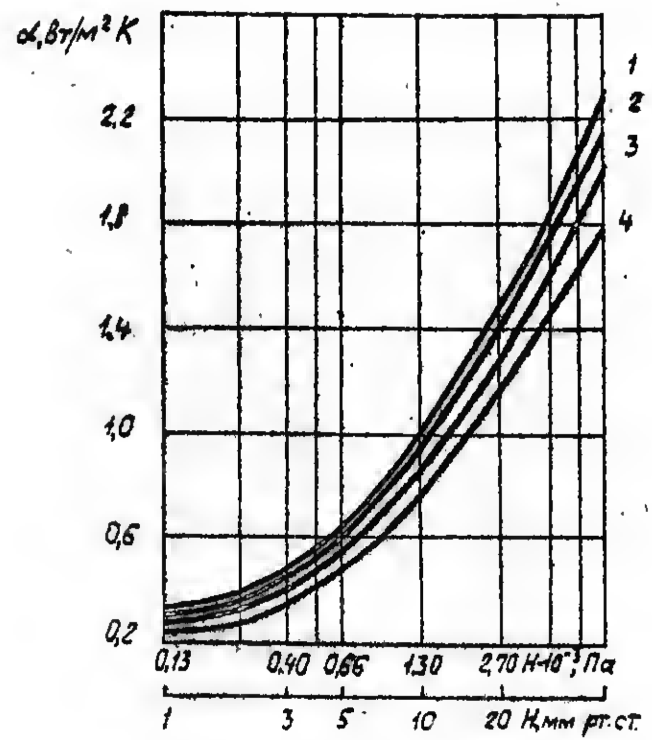
Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 20$ К; $t_m = 323$ К



Значения L : 1-0,0125; 2-0,015; 3-0,020; 4-0,032

Черт. 18

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,
H до $1{,}33 \cdot 10^4$ Па (100 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 323$ К

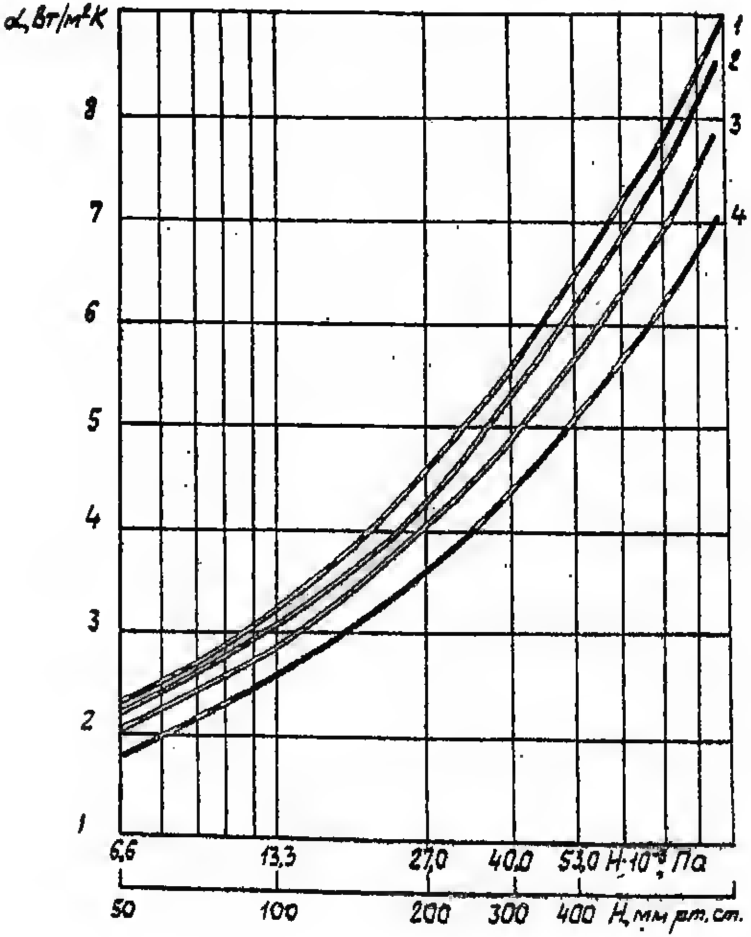


Значения L : 1-0,0125; 2-0,015; 3-0,020; 4-0,032

Черт. 19

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); Δt =30 К; t_m =323 К

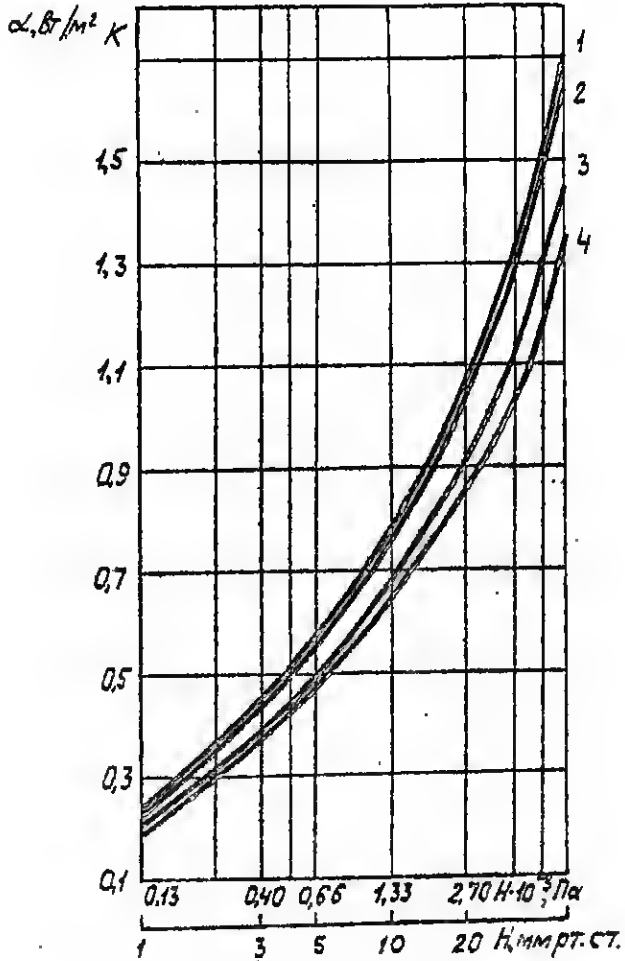


Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 20

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); Δt =10 К; t_m = 353 К

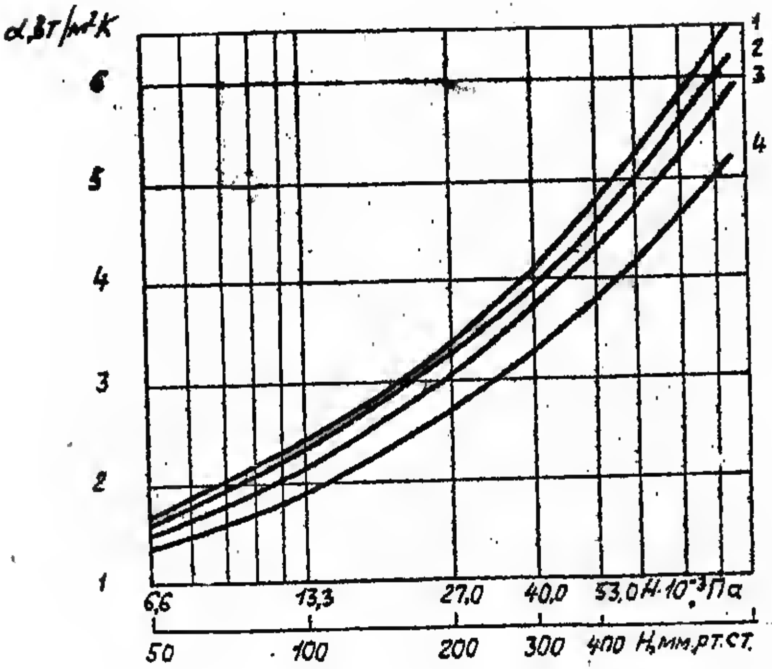


Значения L : 1–0,0125; 2–0,015; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 21

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); Δt =10 К; t_m = 353 К

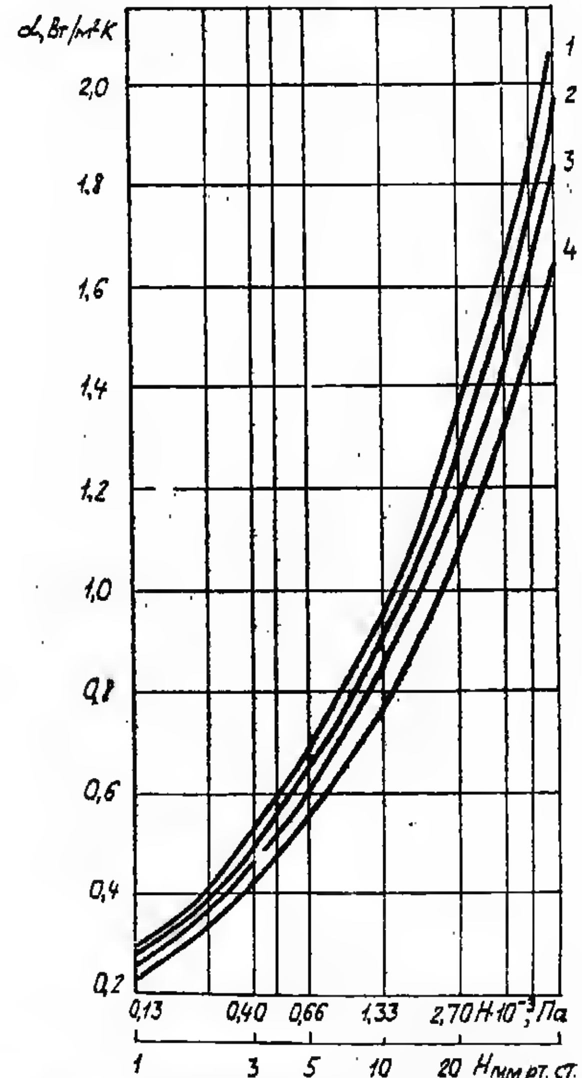


Значения L : 1-0,0125; 2-0,015; 3-0,020; 4-0,032

Черт. 22

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до $6{,}7 \cdot 10^3$ Па (50 мм рт.ст.); Δt = 20 К; t_m = 353 К

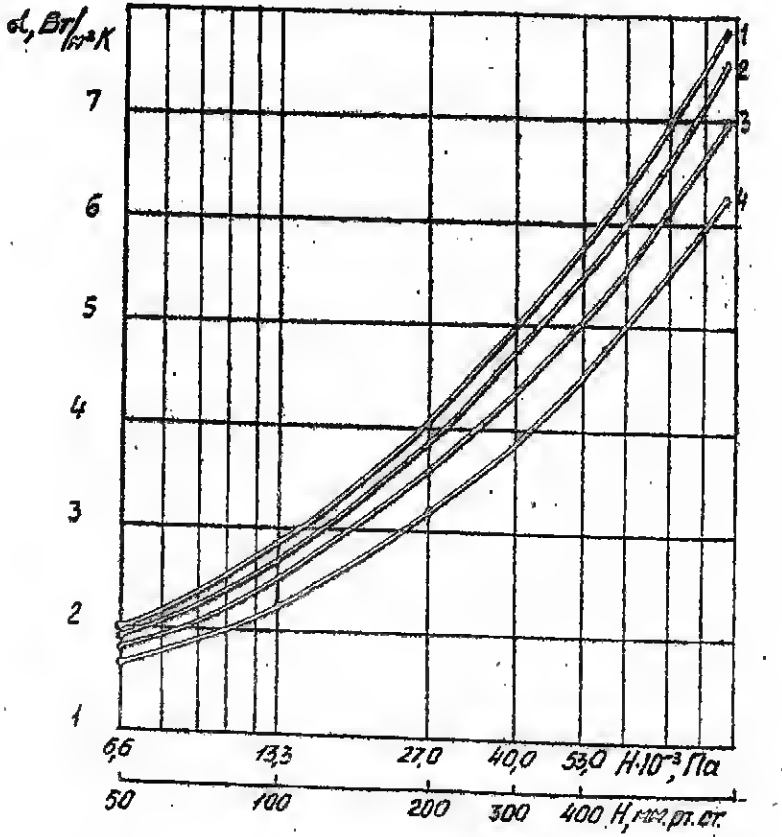


Значения L : 1-0,0125; 2-0,015; 3-0,020; 4-0,032

Черт.23

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до I,0I·I0⁵ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 20$ К; $t_m = 353$ К

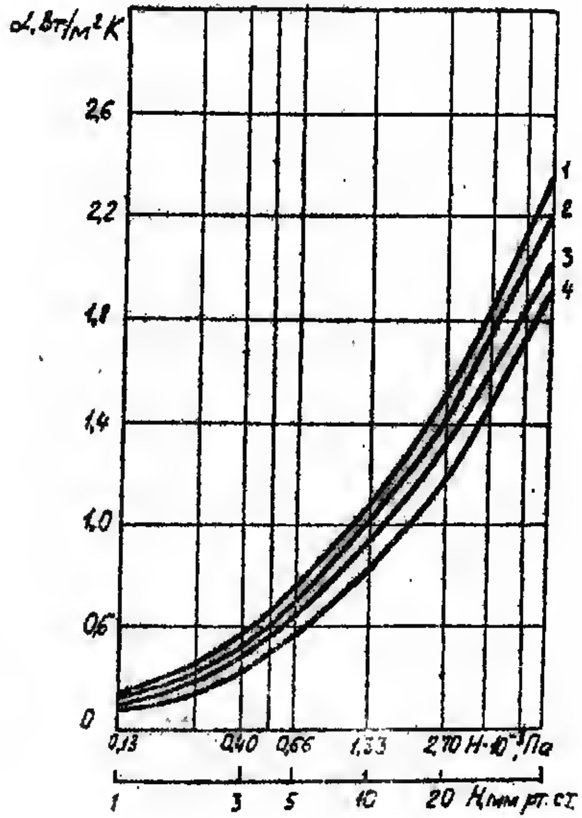


Значения L : I–0,0I25; 2–0,0I5; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 24

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до 6,7·I0³ Па (50 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 353$ К

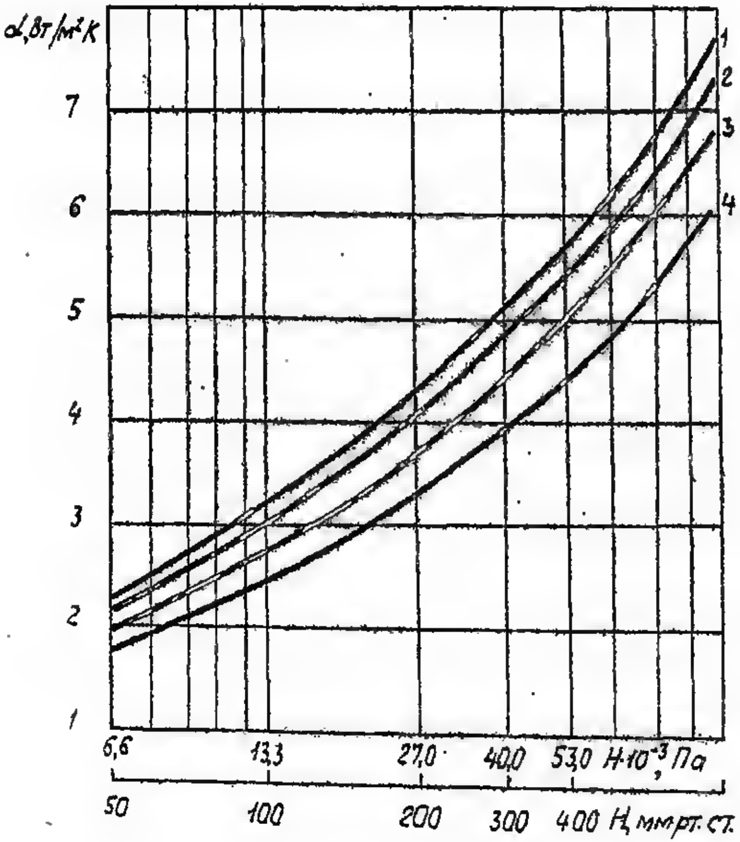


Значения L : I–0,0I25; 2–0,0I5; 3–0,020; 4–0,032

Черт. 25

Зависимость $\alpha_{пк} = f(H)$,

H до $1{,}01 \cdot 10^5$ Па (760 мм рт.ст.); $\Delta t = 30$ К; $t_m = 353$ К



Значения L : I-0,0125; 2-0,015; 3-0,020; 4-0,032

Черт. 26

5. Для условий принудительного охлаждения коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода $\alpha_{рк}$ рассчитывают по формуле (4),

где

$$Nu = 0{,}046\, Re^{0{,}94} \quad \text{при} \quad 1 \cdot 10^2 < Re < 4 \cdot 10^4 . \tag{26}$$

По графикам черт. 27 и 28 определяют $\alpha_{рк}$ для некоторых геометрических размеров единичного элемента игольчато-штыревого теплоотвода в зависимости от скорости набегающего потока воздуха.

В условиях принудительной конвекции коэффициент теплоотдачи гладкой пластины $\alpha_{гл\,к}$ рассчитывают по формуле (II),

где

$$Nu = 0{,}57\, Re^{0{,}5} \quad \text{при} \quad Re < 10^5 \tag{27}$$

или

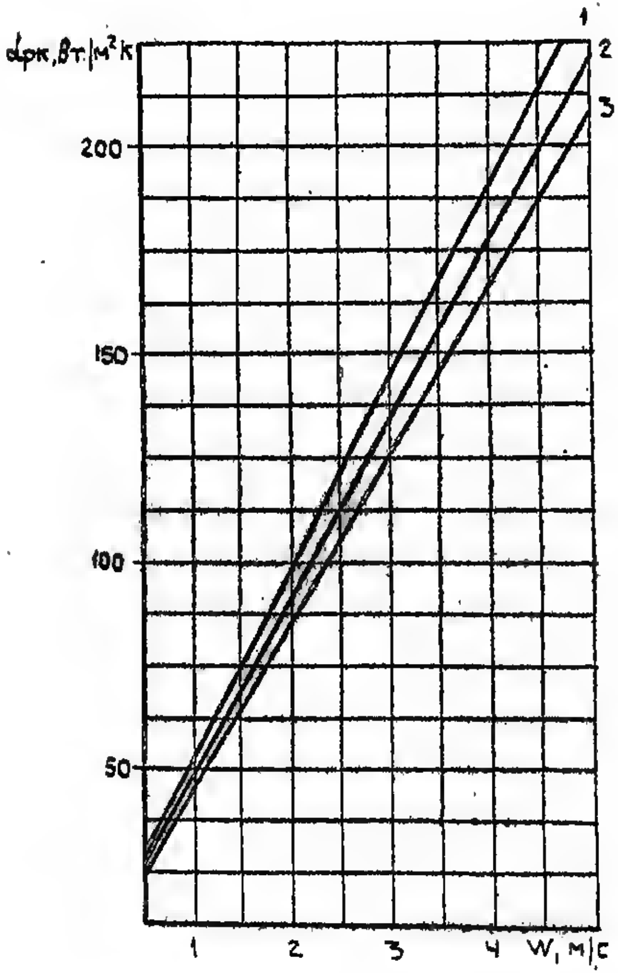
$$Nu = 0{,}032\, Re^{0{,}8} \quad \text{при} \quad Re > 10^5 . \tag{28}$$

Графики для подбора эквивалентного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{экв}$ гладкой пластины в зависимости от скорости набегающего потока воздуха приведены в ОСТ4 ГО.208.203, рекомендуемое приложение 2.

6. Лучистый теплообмен оребренной или гладкой поверхностей определяется зависимостью

$$\alpha_л = \varepsilon_{пр} C_0 \left[\frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{T_1 - T_2} \right], \tag{29}$$

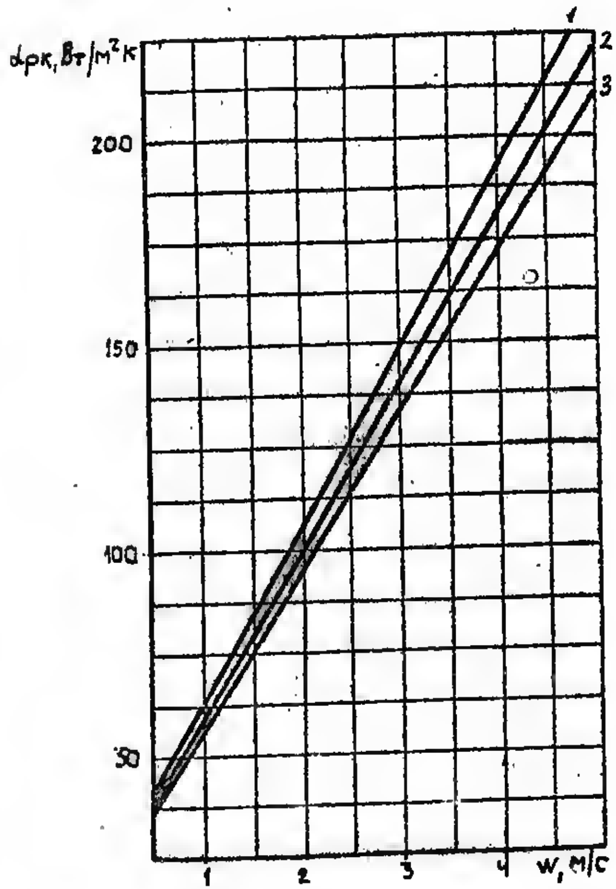
Зависимость $\alpha_{рк} = f(W)$, $S = 0{,}005$ м



Значения t_m: I-303; 2-323; 3-353

Черт. 27

Зависимость $\alpha_{рк} = f(W)$, $S = 0{,}007$ м



Значения t_m: I-303; 2-323; 3-353

Черт. 28

где $\varepsilon_{пр}$ – приведенная степень черноты взаимооблучающихся тел

$$\varepsilon_{пр} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 , \qquad (30)$$

ε_2 – степень черноты элементов, окружающих теплоотвод;

ε_1 – степень черноты теплообменной поверхности теплоотвода;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5{,}67\ Вт/м^2 \cdot K^4$;

T_1, T_2 – абсолютная температура нагретого тела и окружающих его элементов, К; $T = t + 273$.

Общее количество тепла, рассеиваемое излучением, определяется зависимостью

$$q_л = \alpha_л \Delta t H_{12} , \qquad (31)$$

где H_{12} – взаимная поверхность излучения, являющаяся геометрическим параметром, который определяется размерами, формой поверхностей тел, их взаимным расположением и расстоянием между ними, м^2;

$$H_{12} = \varphi_{12} F_1 , \qquad (32)$$

где φ_{12} – коэффициент облученности;

F_1 – поверхность теплообмена (для игольчато-штыревого теплоотвода $F_1 = F_p$, для гладкой пластины $F_1 = F_0$), м^2.

Ниже приводятся расчетные формулы для $\varepsilon_{пр}$ и φ_{12} при некоторых типовых случаях теплообмена гладкой поверхности излучением.

6.1. При теплообмене излучением поверхности F_1 с окружающей неограниченной средой

$$\varphi_{12} = 1;\ \varepsilon_{пр} = \varepsilon_1,\ t_2 = t_c . \qquad (33)$$

6.2. При теплообмене, когда одно тело, не имеющее вогнутостей, находится внутри другого

$$\varphi_{12} = 1,\ \varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} , \qquad (34)$$

где F_2 – общая поверхность элементов, окружающих теплоотвод, м^2.

6.3. Если поверхности тел обладают высокой степенью черноты и расположены либо параллельно, либо перпендикулярно друг другу, то

$$\varepsilon_{пр} \approx \varepsilon_1 \varepsilon_2 . \qquad (35)$$

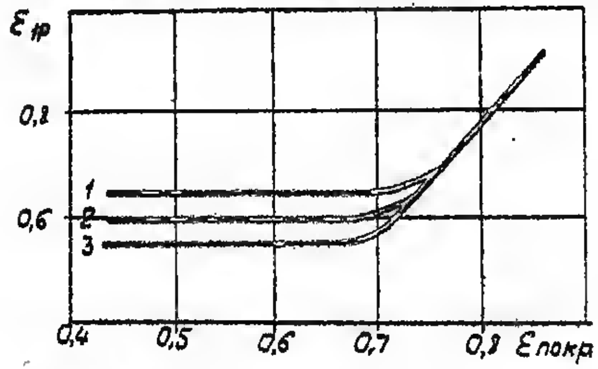
6.4. Игольчато-штыревой теплоотвод с шагом штырей 5,7,9 мм и высотой 0,0125;0,0150;0,0200;0,0320 м имеет величину $\varepsilon_{1p} = 0{,}55 \div 0{,}65$ независимо от того, что степень черноты покрытия теплоотвода может быть ниже 0,55.

Для покрытия с $\varepsilon > 0{,}55$ степень черноты теплоотвода ε_1 соответственно увеличивается. По графику черт. 29 определяют значение ε_1 игольчато-штыревого теплоотвода в зависимости от $\varepsilon_{покр}$.

Лучистый коэффициент теплоотдачи игольчато-штыревого теплоотвода находят по формуле

$$\alpha_{рл} = \alpha_л \cdot \varphi_{12\,шт} , \qquad (36)$$

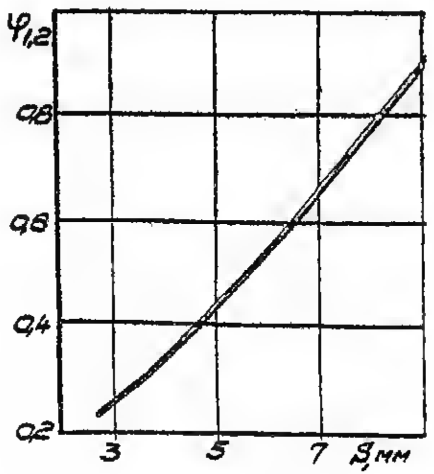
Зависимость $\varepsilon_{1p} = f(\varepsilon_{покр})$ игольчато-штыревого теплоотвода



Значения S : 1 - 0,005; 2 - 0,007; 3- 0,009.

Черт.29

Зависимость $\varphi_{12шт} = f(S)$ игольчато-штыревого теплоотвода.



Черт.30

где $\alpha_{Л}$ определяют по формуле (29);

$\varphi_{12шт}$ - коэффициент облученности штыревой поверхности, определяемый по графику черт. 30.

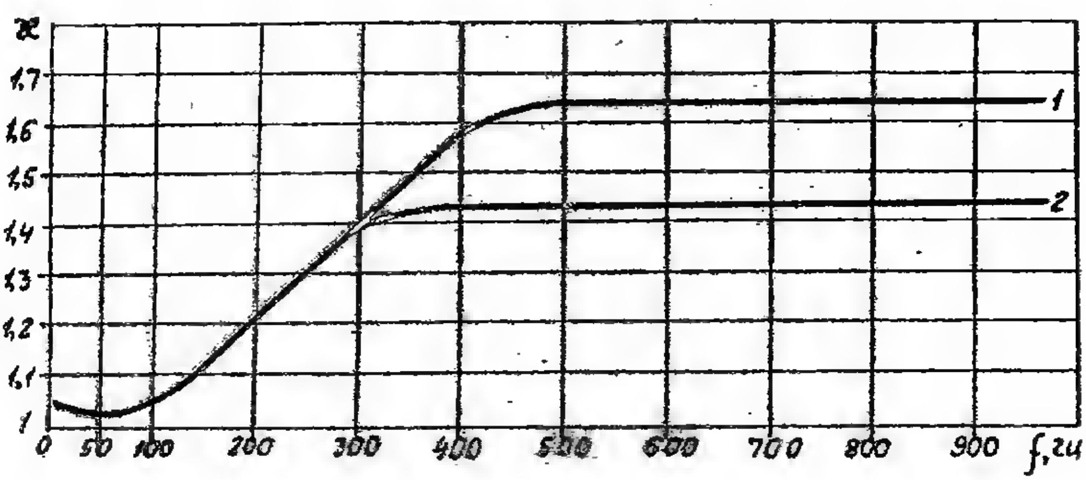
При работе блоков с игольчато-штыревым теплоотводом в условиях механических или акустических вибраций происходит интенсификация конвективного теплообмена. В этом случае $\alpha_{рк}$ для условий естественной конвекции находят по формуле

$$\alpha_{рк} = \alpha_{рк_0} \cdot \varkappa , \qquad (37)$$

где $\alpha_{рк_0}$ - коэффициент теплоотдачи теплоотвода, рассчитанный для условий теплообмена при естественной конвекции без механических или акустических вибраций, Вт/м^{2}К ;

$\varkappa$ - коэффициент интенсификации теплообмена, определяемый по графику черт. 31 для механических вибраций и черт.32 для вибраций от акустических шумов.

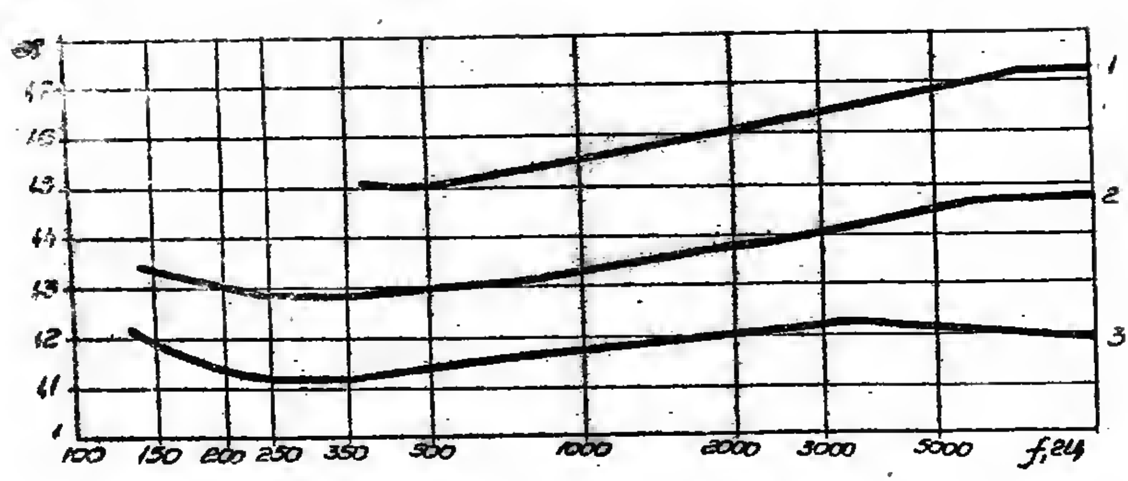
Зависимость $\varkappa = f(f)$, A_K= 0,I-0,5 мм, естественная конвекция



Значения S : I-0,005; 0,007; 2-0,009

Черт. 3I

Зависимость $\varkappa = f(f)$, S = 0,005 - 0,009, естественная конвекция



Значения УЗД: I-I70; 2-I40; 3-II0 - I30

Черт. 32

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рекомендуемое

МЕТОДИКА ПОДБОРА УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛООТВОДА С СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ДВУХ ИТ

I. ПОДБОР УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛООТВОДА, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ ЧАСТЬЮ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА

I.I. Исходные данные

I.I.I. Цель расчета - выбор условий охлаждения при заданной конструкции теплоотвода.

I.I.2. Сведения об ИТ, определяемые по техническим условиям:

мощность, рассеиваемая ИТ, P, Вт;

допустимая температура корпуса ИТ $t_{эл}$, K;

тепловое сопротивление корпус-теплоотвод с электроизоляционной прокладкой и без нее R_Σ, К/Вт (значения R_Σ для наиболее часто используемых полупроводниковых приборов приведены в ОСТ4 0I2.00I, ОСТ4 865.002 и рекомендуемом приложении I);

радиус ИТ R, м.

I.I.3. Сведения об условиях охлаждения:

максимальное значение температуры среды t_c, K;

средняя безразмерная температура теплоотвода $\theta_{cp}^{расч}$ определяется из расчета блока (см. рекомендуемое приложение 6).

I.2. Порядок расчета

I.2.I. Рассчитывают допустимую температуру теплоотвода по формуле

$$t_{тепл}^{доп} = t_{эл} - PR_\Sigma \quad (I)$$

I.2.2. Рассчитывают максимальную безразмерную температуру теплоотвода по формуле

$$\theta_{max} = \frac{(t_{тепл}^{доп} - t_c)\pi\lambda\delta}{P}. \quad (2)$$

I.2.3. По графику черт. I в зависимости от размеров xL, yL и θ_{max} определяют число $Bi_{тр}$.

I.2.4. По графику черт.2 определяют среднюю безразмерную температуру теплоотвода θ_{cp} в зависимости от найденного числа $Bi_{тр}$.

I.2.5. Проверяют неравенство

$$\theta_{cp}^{расч} > \theta_{cp}. \quad (3)$$

Если не выполняется неравенство (3), необходимо увеличивать габариты теплоотвода и повторить расчет по пп. 2.I-2.4.

I.2.6. Рассчитывают требуемый коэффициент теплоотдачи $\alpha_{тр}$ по формуле

$$\alpha_{тр} = \frac{Bi \cdot \lambda}{xL}. \quad (4)$$

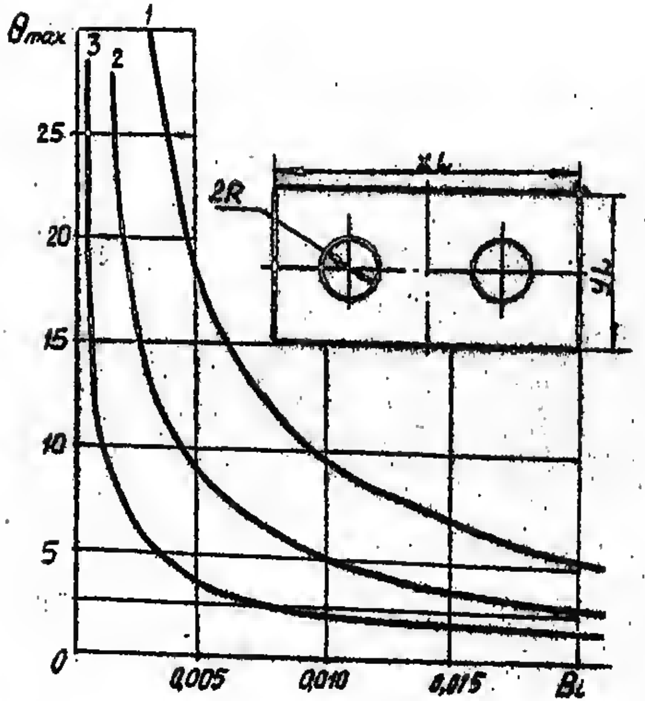
I.2.7. В соответствии с полученным значением коэффициента теплоотдачи по рекомендуемому приложению 8 определяют условия охлаждения (естественная или принудительная конвекция).

2. ПОДБОР УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И ГАБАРИТОВ ГРУППОВОГО ТЕПЛООТВОДА

2.I. Исходные данные

2.I.I. Цель расчета - подбор условий охлаждения и габаритов группового прямоугольно-штыревого теплоотвода для конструирования блока.

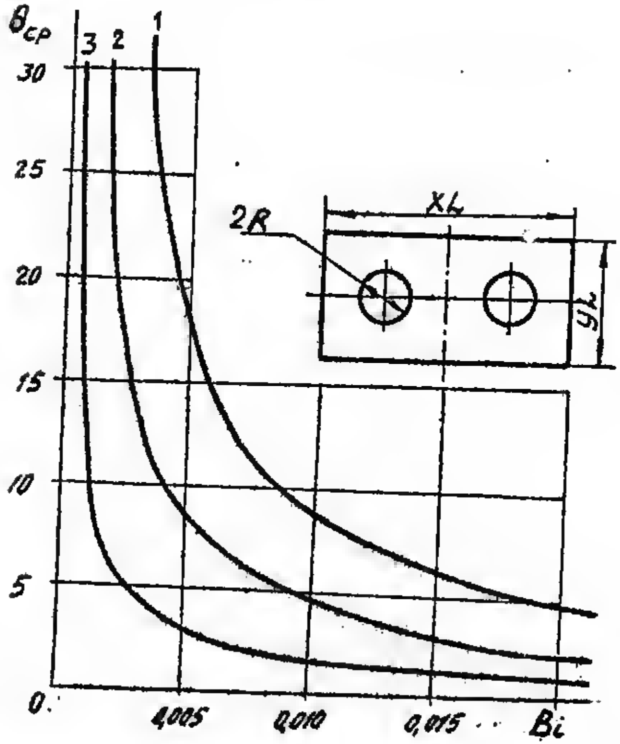
Зависимость числа Bi от безразмерной температуры θ_{max} для двух симметрично расположенных на теплоотводе ИТ



Значения параметров: I – XL = 0,090; YL = 0,045;
2 – XL = 0,I20; YL = 0,060;
3 – XL = 0,I80; YL = 0,090;
R = 0,0I3;
δ = 0,004

Черт. I

Зависимость числа Bi от безразмерной температуры θ_{cp} для двух симметрично расположенных на теплоотводе ИТ



Значения параметров : I – XL = 0,090; YL = 0,045;
2 – XL = 0,I20; YL = 0,060;
3 – XL = 0,I80; YL = 0,090;
R = 0,0I3;
δ = 0,004

Черт. 2

2.1.2. Сведения об ИТ, определяемые по техническим условиям:

мощность, рассеиваемая ИТ, P, Вт;

допустимая температура корпуса ИТ $t_{м}$, К;

тепловое сопротивление корпус-теплоотвод с электроизоляционной прокладкой и без нее $R_{к}$, К/Вт (значения для наиболее часто используемых полупроводниковых приборов приведены в ОСТ4 012.001 и ОСТ4 865.002);

радиус ИТ R, м.

2.1.3. Сведения об условиях охлаждения:

максимальное значение температуры среды t_{c}, К.

2.2. Порядок расчета

2.2.1. Определяют допустимую температуру теплоотвода по формуле

$$t^{\text{доп}}_{\text{тепл}} = t_{м} - PR_{к}. \qquad (5)$$

2.2.2. Определяют допустимую безразмерную температуру $\Theta^{\text{доп}}$ по формуле

$$\Theta^{\text{доп}} = \frac{(t^{\text{доп}}_{\text{тепл}} - t_{c})\pi\lambda\delta}{P}. \qquad (6)$$

2.2.3. По графику черт. 1 определяют габариты теплоотвода и число Bi в зависимости от температуры $\Theta^{\text{доп}}$.

2.2.4. Рассчитывают коэффициенты теплоотдачи, соответствующие найденным размерам xL и числу Bi, по формуле

$$\alpha = \frac{Bi\cdot\lambda}{xL}. \qquad (7)$$

Исходя из конструктивных возможностей, выбирают либо условия охлаждения и соответствующий им размер теплоотвода, либо необходимый размер теплоотвода и соответствующие ему условия охлаждения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЛОКОВ

1. Системы уравнений, описывающих тепловой режим блоков, составлены с помощью соотношений, помещенных в разделе 4 настоящего стандарта. Полученные системы уравнений решают с помощью стандартных программ ЭВМ типа "Мир", "Искра" или других цифровых электронно-вычислительных машин.

2. Система уравнений для описания теплового режима модели 1 (черт. 1 и 2, раздел 3 настоящего стандарта).

2.1. Уравнение теплового баланса для первой нагретой зоны (Н1) составляют в соответствии с соотношением 1 раздела 4 настоящего стандарта

$$\Phi_{\text{н1р}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{р}})+\Phi_{\text{н1к2}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{к2}})+\Phi_{\text{н1к4}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{к4}})+\Phi_{\text{н1к5}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{к5}})+$$
$$+\Phi_{\text{н1к6}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{к6}})+\Phi_{\text{н1в1}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{в1}})=P_{\text{н1}}.$$

2.2. Уравнение для второй нагретой зоны (Н2) составляют аналогично п. 2.1 настоящего раздела

$$\Phi_{\text{н2к2}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{к2}})+\Phi_{\text{н2к3}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{к3}})+\Phi_{\text{н2к4}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{к4}})+\Phi_{\text{н2к5}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{к5}})+$$
$$+\Phi_{\text{н2к6}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{к6}})+\Phi_{\text{н2в2}}(T_{\text{н2}}-T_{\text{в2}})=P_{\text{н2}}.$$

2.3. Уравнение теплового баланса для группового игольчато-штыревого теплоотвода составляют в соответствии с соотношением 1 раздела 4 настоящего стандарта

$$-\Phi_{\text{н1р}}(T_{\text{н1}}-T_{\text{р}})+\Phi_{\text{рк2}}(T_{\text{р}}-T_{\text{к2}})+\Phi_{\text{рк3}}(T_{\text{р}}-T_{\text{к3}})+\Phi_{\text{рк4}}(T_{\text{р}}-T_{\text{к4}})+$$
$$+\Phi_{\text{рк5}}(T_{\text{р}}-T_{\text{к5}})+\Phi_{\text{рк6}}(T_{\text{р}}-T_{\text{к6}})+\Phi_{\text{рв1}}(T_{\text{р}}-T_{\text{в1}})+\Phi_{\text{рс}}(T_{\text{р}}-T_{\text{с}})=P_{\text{р}}.$$

2.4. Уравнение теплового баланса для второй стенки кожуха составлено в соответствии с рекомендациями раздела 4 настоящего стандарта. (Например, полагают, что стенка кожуха, расположенная напротив наибольшей поверхности нагретой зоны, будет иметь цифру I. Для первой модели это теплоотвод)

$$-\Phi_{H1K2}(T_{H1}-T_{K2})-\Phi_{H2K2}(T_{H2}-T_{K2})-\Phi_{pK2}(T_p-T_{K2})+$$
$$+\Phi_{K2K3}(T_{K2}-T_{K3})+\Phi_{K2K4}(T_{K2}-T_{K4})+\Phi_{K2K5}(T_{K2}-T_{K5})+$$
$$+\Phi_{K2K6}(T_{K2}-T_{K6})+\Phi_{K2B1}(T_{K2}-T_{B1})+\Phi_{K2B2}(T_{K2}-T_{B2})=\Phi_{K2C}(T_{K2}-T_C).$$

2.5. Уравнение теплового баланса для третьей стенки кожуха составляют аналогично п.2.I. настоящего раздела

$$-\Phi_{H2K3}(T_{H2}-T_{K3})-\Phi_{pK3}(T_p-T_{K3})-\Phi_{K2K3}(T_{K2}-T_{K3})+$$
$$+\Phi_{K3K4}(T_{K3}-T_{K4})+\Phi_{K3K5}(T_{K3}-T_{K5})+\Phi_{K3K6}(T_{K3}-T_{K6})+$$
$$+\Phi_{K3B2}(T_{K3}-T_{B2})=\Phi_{K3C}(T_{K3}-T_C).$$

2.6. Уравнение теплового баланса для четвертой стенки кожуха блока

$$-\Phi_{H1K4}(T_{H1}-T_{K4})-\Phi_{H2K4}(T_{H2}-T_{K4})-\Phi_{pK4}(T_p-T_{K4})-\Phi_{K2K4}(T_{K2}-T_{K4})-$$
$$-\Phi_{K3K4}(T_{K3}-T_{K4})+\Phi_{K4K5}(T_{K4}-T_{K5})+\Phi_{K4K6}(T_{K4}-T_{K6})+$$
$$+\Phi_{K4B1}(T_{K4}-T_{B1})+\Phi_{K4B2}(T_{K4}-T_{B2})=\Phi_{K4C}(T_{K4}-T_C).$$

2.7. Уравнение теплового баланса для пятой стенки кожуха блока

$$-\Phi_{H1K5}(T_{H1}-T_{K5})-\Phi_{H2K5}(T_{H2}-T_{K5})-\Phi_{pK5}(T_p-T_{K5})-\Phi_{K2K5}(T_{K2}-T_{K5})-$$
$$-\Phi_{K3K5}(T_{K3}-T_{K5})-\Phi_{K4K5}(T_{K4}-T_{K5})+\Phi_{K5K6}(T_{K5}-T_{K6})+\Phi_{K5B1}(T_{K5}-T_{B1})+$$
$$+\Phi_{K5B2}(T_{K5}-T_{B2})=\Phi_{K5C}(T_{K5}-T_C).$$

2.8. Уравнение теплового баланса для шестой стенки кожуха блока

$$-\Phi_{H1K6}(T_{H1}-T_{K6})-\Phi_{H2K6}(T_{H2}-T_{K6})-\Phi_{pK6}(T_p-T_{K6})-\Phi_{K2K6}(T_{K2}-T_{K6})-$$
$$-\Phi_{K3K6}(T_{K3}-T_{K6})-\Phi_{K4K6}(T_{K4}-T_{K6})-\Phi_{K5K6}(T_{K5}-T_{K6})+\Phi_{K6B1}(T_{K6}-T_{B1})+$$
$$+\Phi_{K6B2}(T_{K6}-T_{B2})=\Phi_{K6C}(T_{K6}-T_C).$$

2.9. Уравнение теплового баланса для определения средней температуры воздуха в первой части блока составляют в соответствии с п.4.5 настоящего стандарта

$$\Phi_{H1B1}(T_{H1}-T_{B1})+\Phi_{pB1}(T_p-T_{B1})+\Phi_{K2B1}(T_{K2}-T_{B1})+\Phi_{K3B1}(T_{K3}-T_{B1})+$$
$$+\Phi_{K4B1}(T_{K4}-T_{B1})+\Phi_{K5B1}(T_{K5}-T_{B1})+\Phi_{K6B1}(T_{K6}-T_{B1})=2c_pG_1(T_{B1}-T_0).$$

2.I0. Уравнение теплового баланса для воздуха во второй части блока составляют аналогично п.2.I

$$\Phi_{H2B2}(T_{H2}-T_{B2})+\Phi_{K2B2}(T_{K2}-T_{B2})+\Phi_{K3B2}(T_{K3}-T_{B2})+$$
$$+\Phi_{K4B2}(T_{K4}-T_{B2})+\Phi_{K5B2}(T_{K5}-T_{B2})+\Phi_{K6B2}(T_{K6}-T_{B2})=2c_pG_2(T_{B2}-T_0).$$

3. Система уравнений для описания теплового режима модели 2 (черт.3 и 4, раздел 3 настоящего стандарта). Все уравнения данного пункта составляют аналогично уравнениям п.2.I.

3.I. Уравнение теплового баланса для первой нагретой зоны

$$\Phi_{H1p}(T_{H1}-T_p)+\Phi_{H1K2}(T_{H1}-T_{K2})+\Phi_{H1K4}(T_{H1}-T_{K4})+$$
$$+\Phi_{H1X}(T_{H1}-T_X)+\Phi_{H1K6}(T_{H1}-T_{K6})+\Phi_{H1B1}(T_{H1}-T_{B1})=P_{H1}.$$

3.2. Уравнение теплового баланса для второй нагретой зоны

$$\Phi_{H2K2}(T_{H2}-T_{K2})+\Phi_{H2K3}(T_{H2}-T_{K3})+\Phi_{H2K4}(T_{H2}-T_{K4})+$$
$$+\Phi_{H2X}(T_{H2}-T_X)+\Phi_{H2K6}(T_{H2}-T_{K6})+\Phi_{H2B2}(T_{H2}-T_{B2})=P_{H2}.$$

3.3. Уравнение теплового баланса для группового игольчато-штыревого теплоотвода

$$-\Phi_{H1p}(T_{H1}-T_p)+\Phi_{pk2}(T_p-T_{k2})+\Phi_{pk3}(T_p-T_{k3})+$$
$$+\Phi_{pk4}(T_p-T_{k4})+\Phi_{px}(T_p-T_x)+\Phi_{pk6}(T_p-T_{k6})+$$
$$+\Phi_{pB1}(T_p-T_{B1})+\Phi_{pc}(T_p-T_c)=P_T.$$

3.4. Уравнения теплового баланса для второй стенки кожуха

$$-\Phi_{H1k2}(T_{H1}-T_{k2})-\Phi_{H2k2}(T_{H2}-T_{k2})-\Phi_{pk2}(T_p-T_{k2})+$$
$$+\Phi_{k2k3}(T_{k2}-T_{k3})+\Phi_{k2k4}(T_{k2}-T_{k4})+\Phi_{k2x}(T_{k2}-T_x)+$$
$$+\Phi_{k2k6}(T_{k2}-T_{k6})+\Phi_{k2B1}(T_{k2}-T_{B1})+\Phi_{k2B2}(T_{k2}-T_{B2})=\Phi_{k2c}(T_{k2}-T_c).$$

3.5. Уравнение теплового баланса для третьей стенки кожуха

$$-\Phi_{H2k3}(T_{H2}-T_{k3})-\Phi_{pk3}(T_p-T_{k3})-\Phi_{k2k3}(T_{k2}-T_{k3})+$$
$$+\Phi_{k3k4}(T_{k3}-T_{k4})+\Phi_{k3x}(T_{k3}-T_x)+\Phi_{k3k6}(T_{k3}-T_6)+$$
$$+\Phi_{k3B2}(T_{k3}-T_{B2})=\Phi_{k3c}(T_{k3}-T_c).$$

3.6. Уравнение теплового баланса для четвертой стенки кожуха

$$-\Phi_{H1k4}(T_{H1}-T_{k4})-\Phi_{H2k4}(T_{H2}-T_{k4})-\Phi_{pk4}(T_p-T_{k4})-$$
$$-\Phi_{k2k4}(T_{k2}-T_{k4})-\Phi_{k3k4}(T_{k3}-T_{k4})+\Phi_{k4x}(T_{k4}-T_x)+$$
$$+\Phi_{k4k6}(T_{k4}-T_{k6})+\Phi_{k4B1}(T_{k4}-T_{B1})+\Phi_{k4B2}(T_{k4}-T_{B2})=\Phi_{k4c}(T_{k4}-T_c).$$

3.7. Уравнение теплового баланса для "холодной платы"

$$-\Phi_{H1x}(T_{H1}-T_x)-\Phi_{H2x}(T_{H2}-T_x)-\Phi_{px}(T_p-T_x)-$$
$$-\Phi_{k2x}(T_{k2}-T_x)-\Phi_{k3x}(T_{k3}-T_x)-\Phi_{k4x}(T_{k4}-T_x)-$$
$$-\Phi_{k6x}(T_{k6}-T_x)+\Phi_{xB1}(T_x-T_{B1})+\Phi_{xB2}(T_x-T_{B2})=\Phi_{xc}(T_x-T_c).$$

3.8. Уравнение теплового баланса для шестой стенки кожуха

$$-\Phi_{H1k6}(T_{H1}-T_{k6})-\Phi_{H2k6}(T_{H2}-T_{k6})-\Phi_{pk6}(T_p-T_{k6})-$$
$$-\Phi_{k2k6}(T_{k2}-T_{k6})-\Phi_{k3k6}(T_{k3}-T_{k6})-\Phi_{k4k6}(T_{k4}-T_{k6})+$$
$$+\Phi_{k6x}(T_{k6}-T_x)+\Phi_{k6B1}(T_{k6}-T_{B1})+\Phi_{k6B2}(T_{k6}-T_{B2})=\Phi_{k6c}(T_{k6}-T_c).$$

3.9. Уравнение теплового баланса для температуры воздуха в первой части блока

$$\Phi_{H1B1}(T_{H1}-T_{B1})+\Phi_{pB1}(T_p-T_{B1})+\Phi_{k2B1}(T_{k2}-T_{B1})+$$
$$+\Phi_{k4B1}(T_{k4}-T_{B1})+\Phi_{xB1}(T_x-T_{B1})+\Phi_{k6B1}(T_{k6}-T_{B1})=2c_pG_1(T_{B1}-T_0).$$

3.10. Уравнение теплового баланса для воздуха во второй части блока

$$\Phi_{H2B2}(T_{H2}-T_{B2})+\Phi_{k2B2}(T_{k2}-T_{B2})+\Phi_{k3B2}(T_{k3}-T_{B2})+$$
$$+\Phi_{k4B2}(T_{k4}-T_{B2})+\Phi_{xB2}(T_x-T_{B2})+\Phi_{k6B2}(T_{k6}-T_{B2})=2c_pG_2(T_{B2}-T_0).$$

4. Система уравнений для описания теплового режима модели 3 (черт. 5 и 6, раздел 3 настоящего стандарта). Все уравнения данного пункта составляют аналогично п. 2.1.

4.1. Уравнение теплового баланса для первой нагретой зоны

$$\Phi_{H1k1}(T_{H1}-T_{k1})+\Phi_{H1k2}(T_{H1}-T_{k2})+\Phi_{H1k4}(T_{H1}-T_{k4})+$$
$$+\Phi_{H1k5}(T_{H1}-T_{k5})+\Phi_{H1k6}(T_{H1}-T_{k6})+\Phi_{H1B1}(T_{H1}-T_{B1})=P_{\text{З}1}.$$

4.2. Уравнение теплового баланса для второй нагретой зоны

$$\Phi_{н2р}(T_{н2}-T_р)+\Phi_{н2к2}(T_{н2}-T_{к2})+\Phi_{н2к4}(T_{н2}-T_{к4})+\Phi_{н2к5}(T_{н2}-T_{к5})+\Phi_{н2к6}(T_{н2}-T_{к6})+\Phi_{н2в2}(T_{н2}-T_{в2})=P_{з2}.$$

4.3. Уравнение теплового баланса для третьей нагретой зоны

$$\Phi_{н3р}(T_{н3}-T_р)+\Phi_{н3к2}(T_{н3}-T_{к2})+\Phi_{н3к4}(T_{н3}-T_{к4})+\Phi_{н3к5}(T_{н3}-T_{к5})+\Phi_{н3к6}(T_{н3}-T_{к6})+\Phi_{н3в3}(T_{н3}-T_{в3})=P_{з3}.$$

4.4. Уравнение теплового баланса для четвертой нагретой зоны

$$\Phi_{н4к2}(T_{н4}-T_{к2})+\Phi_{н4к3}(T_{н4}-T_{к3})+\Phi_{н4к4}(T_{н4}-T_{к4})+\Phi_{н4к5}(T_{н4}-T_{к5})+\Phi_{н4к6}(T_{н4}-T_{к6})+\Phi_{н4в4}(T_{н4}-T_{в4})=P_{з4}.$$

4.5. Уравнение теплового баланса для группового теплоотвода

$$-\Phi_{н2р}(T_{н2}-T_р)-\Phi_{н3р}(T_{н3}-T_р)+\Phi_{рк1}(T_р-T_{к1})+\Phi_{рк2}(T_р-T_{к2})+\Phi_{рк3}(T_р-T_{к3})+\Phi_{рк4}(T_р-T_{к4})+\Phi_{рк5}(T_р-T_{к5})+\Phi_{рк6}(T_р-T_{к6})+\Phi_{рв2}(T_р-T_{в2})+\Phi_{рв3}(T_р-T_{в3})=P_т-\Phi_{рс}(T_р-T_с).$$

4.6. Уравнение теплового баланса для первой стенки кожуха

$$-\Phi_{н1к1}(T_{н1}-T_{к1})-\Phi_{рк1}(T_р-T_{к1})+\Phi_{к1к2}(T_{к1}-T_{к2})+\Phi_{к1к4}(T_{к1}-T_{к4})+\Phi_{к1к5}(T_{к1}-T_{к5})+\Phi_{к1к6}(T_{к1}-T_{к6})+\Phi_{к1в1}(T_{к1}-T_{в1})=\Phi_{к1с}(T_{к1}-T_с).$$

4.7. Уравнение теплового баланса для второй стенки кожуха

$$-\Phi_{н1к2}(T_{н1}-T_{к2})-\Phi_{н2к2}(T_{н2}-T_{к2})-\Phi_{н3к1}(T_{н3}-T_{к1})-\Phi_{н4к1}(T_{н4}-T_{к1})-\Phi_{рк2}(T_р-T_{к2})+\Phi_{к2к3}(T_{к2}-T_{к3})+\Phi_{к2к4}(T_{к2}-T_{к4})+\Phi_{к2к5}(T_{к2}-T_{к5})+\Phi_{к2к6}(T_{к2}-T_{к6})+\Phi_{к2в1}(T_{к2}-T_{в1})+\Phi_{к2в2}(T_{к2}-T_{в2})+\Phi_{к2в3}(T_{к2}-T_{в3})+\Phi_{к2в4}(T_{к2}-T_{в4})=\Phi_{к2с}(T_{к2}-T_с).$$

4.8. Уравнение теплового баланса для третьей стенки кожуха

$$-\Phi_{н4к3}(T_{н4}-T_{к3})-\Phi_{рк3}(T_р-T_{к3})-\Phi_{к2к3}(T_{к2}-T_{к3})+\Phi_{к3к4}(T_{к3}-T_{к4})+\Phi_{к3к5}(T_{к3}-T_{к5})+\Phi_{к3к6}(T_{к3}-T_{к6})+\Phi_{к3в4}(T_{к3}-T_{в4})=\Phi_{к3с}(T_{к3}-T_с).$$

4.9. Уравнение теплового баланса для четвертой стенки кожуха

$$-\Phi_{н1к4}(T_{н1}-T_{к4})-\Phi_{н2к4}(T_{н2}-T_{к4})-\Phi_{н3к4}(T_{н3}-T_{к4})-\Phi_{н4к4}(T_{н4}-T_{к4})-\Phi_{рк4}(T_р-T_{к4})-\Phi_{к2к4}(T_{к2}-T_{к4})-\Phi_{к3к4}(T_{к3}-T_{к4})+\Phi_{к4к5}(T_{к4}-T_{к5})+\Phi_{к4к6}(T_{к4}-T_{к6})+\Phi_{к4в1}(T_{к4}-T_{в1})+\Phi_{к4в2}(T_{к4}-T_{в2})+\Phi_{к4в3}(T_{к4}-T_{в3})+\Phi_{к4в4}(T_{к4}-T_{в4})=\Phi_{к4с}(T_{к4}-T_с).$$

4.10. Уравнение теплового баланса для пятой стенки кожуха

$$-\Phi_{н1к5}(T_{н1}-T_{к5})-\Phi_{н2к5}(T_{н2}-T_{к5})-\Phi_{н3к5}(T_{н3}-T_{к5})-\Phi_{н4к5}(T_{н4}-T_{к5})-\Phi_{рк5}(T_р-T_{к5})-\Phi_{к1к5}(T_{к1}-T_{к5})-\Phi_{к2к5}(T_{к2}-T_{к5})-\Phi_{к3к5}(T_{к3}-T_{к5})-\Phi_{к4к5}(T_{к4}-T_{к5})+\Phi_{к5к6}(T_{к5}-T_{к6})+\Phi_{к5в1}(T_{к5}-T_{в1})+\Phi_{к5в2}(T_{к5}-T_{в2})+\Phi_{к5в3}(T_{к5}-T_{в3})+\Phi_{к5в4}(T_{к5}-T_{в4})=\Phi_{к5с}(T_{к5}-T_с).$$

4.11. Уравнение теплового баланса для шестой стенки кожуха

$$-\Phi_{н1к6}(T_{н1}-T_{к6})-\Phi_{н2к6}(T_{н2}-T_{к6})-\Phi_{н3к6}(T_{н3}-T_{к6})-\Phi_{н4к6}(T_{н4}-T_{к6})-\Phi_{рк6}(T_р-T_{к6})-\Phi_{к1к6}(T_{к1}-T_{к6})-\Phi_{н2к6}(T_{н2}-T_{к6})-\Phi_{к3к6}(T_{к3}-T_{к6})-\Phi_{к4к6}(T_{к4}-T_{к6})-\Phi_{к5к6}(T_{к5}-T_{к6})+\Phi_{к6в1}(T_{к6}-T_{в1})+\Phi_{к6в2}(T_{к6}-T_{в2})+\Phi_{к6в3}(T_{к6}-T_{в3})+\Phi_{к6в4}(T_{к6}-T_{в4})=\Phi_{к6с}(T_{к6}-T_с).$$

4.12. Уравнения теплового баланса для воздуха в первой части блока

$$\Phi_{H1B1}(T_{H1}-T_{B1})+\Phi_{K1B1}(T_{K1}-T_{B1})+\Phi_{K2B1}(T_{K2}-T_{B1})+$$
$$+\Phi_{K4B1}(T_{K4}-T_{B1})+\Phi_{K5B1}(T_{K5}-T_{B1})+\Phi_{K6B1}(T_{K6}-T_{B1})=2c_pG_1(T_{B1}-T_0).$$

4.13. Уравнение теплового баланса для воздуха во второй части блока

$$\Phi_{H2B2}(T_{H2}-T_{B2})+\Phi_{PB2}(T_P-T_{B2})+\Phi_{K2B2}(T_{K2}-T_{B2})+$$
$$+\Phi_{K4B2}(T_{K4}-T_{B2})+\Phi_{K5B2}(T_{K5}-T_{B2})+\Phi_{K6B2}(T_{K6}-T_{B2})=2c_pG_2(T_{B2}-T_0).$$

4.14. Уравнение теплового баланса для воздуха в третьей части блока

$$\Phi_{H3B3}(T_{H3}-T_{B3})+\Phi_{PB3}(T_P-T_{B3})+\Phi_{K2B3}(T_{K2}-T_{B3})+$$
$$+\Phi_{K4B3}(T_{K4}-T_{B3})+\Phi_{K5B3}(T_{K5}-T_{B3})+\Phi_{K6B3}(T_{K6}-T_{B3})=2c_pG_3(T_{B3}-T_0).$$

4.15. Уравнение теплового баланса для воздуха в четвертой части блока

$$\Phi_{H4B4}(T_{H4}-T_{B4})+\Phi_{K2B4}(T_{K2}-T_{B4})+\Phi_{K3B4}(T_{K3}-T_{B4})+$$
$$+\Phi_{K4B4}(T_{K4}-T_{B4})+\Phi_{K5B4}(T_{K5}-T_{B4})+\Phi_{K6B4}(T_{K6}-T_{B4})=2c_pG_4(T_{B4}-T_0).$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1

Необходимо рассчитать условия охлаждения группового игольчато-штыревого теплоотвода, имеющего заданные габариты, с симметричным расположением двух ИТ, используемого в качестве конструкции блока.

Расчет проводят по методике рекомендуемого приложения 5 настоящего стандарта.

Исходные данные:

тип ИТ – транзисторы П702 ;

мощность, рассеиваемая каждым транзистором, P = 12 Вт;

допустимая температура корпуса элемента $t_{эл}$ = 383 К;

тепловое сопротивление корпус – теплоотвод $R_{\text{к}}$ = 2,5 К/Вт.

Сведения об условиях охлаждения:

температура окружающей среды t_c = 293 К;

средняя безразмерная температура теплоотвода θ_{cp} = 10,3.

Сведения о конструкции теплоотвода:

длина теплоотвода L = 0,15 м;

ширина теплоотвода B = 0,05 м ;

толщина теплоотвода d = 0,004 м;

направление продува вдоль размера L ;

теплопроводность материала теплоотвода λ = 150 Вт/м·К .

Расчет

I. Рассчитывают допустимую температуру теплоотвода по формуле (I)

$$t_{тепл}^{доп} = 383 - 12 \cdot 2,5 = 353 \text{ К}.$$

2. Рассчитывают максимальную безразмерную температуру теплоотвода Θ_{max} по формуле (2)

$$\Theta_{max} = \frac{(353-293) \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot 0,004}{12} = 9,4.$$

3. По графику черт. I рекомендуемого приложения 5 находят число Bi, соответствующее значению $\Theta_{ср}^{доп}$.

$$Bi = 0,0042.$$

4. По графику черт. 2 рекомендуемого приложения 5 проверяют условие $\Theta_{ср} > \Theta_{max}$; $10,3 > 9,4$.

5. Рассчитывают требуемый коэффициент теплоотдачи $\alpha_{тр}$ по формуле (4)

$$\alpha_{тр} = \frac{0,0042 \cdot 150}{0,12} = 5,73 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Полученное значение коэффициента теплообмена соответствует условиям естественной конвекции (см. рекомендуемое приложение 3).

Пример 2

Подобрать габариты игольчето-штыревого теплоотвода с симметричным расположением двух ИТ и соответствующие им условия охлаждения.

Расчет проводят по методике рекомендуемого приложения 5 настоящего стандарта.

Исходные данные:

мощность, рассеиваемая каждым ИТ	$P = 18$ Вт;
допустимая температура корпуса ИТ	$t_{м} = 383$ К;
тепловое сопротивление корпус – теплоотвод	$R_{к} = 2,5$ К/Вт.
Сведения об условиях охлаждения:	
температура окружающей среды	$t_{с} = 298$ К.
Сведения о конструкции теплоотвода:	
толщина теплоотвода	$\delta = 0,004$ м;
теплопроводность материала теплоотвода	$\lambda = 150$ Вт/м·К.

Расчет

I. Рассчитывают допустимую температуру теплоотвода по формуле (I)

$$t_{тепл}^{доп} = 383 - 18 \cdot 2,5 = 338 \text{ К}.$$

2. Рассчитывают ~~допустимую~~ максимальную безразмерную температуру теплоотвода по формуле (2)

$$\Theta_{max} = \frac{(338-298) \cdot 3,14 \cdot 150 \cdot 0,004}{18} = 4,2.$$

3. По графику черт. I рекомендуемого приложения 5 определяют сочетание требуемых габаритов теплоотвода и соответствующих им чисел Bi:

габариты 0,09 x 0,045; $Bi = 0,0220$;

габариты 0,120 x 0,060; $Bi = 0,0115$;

габариты 0,180 x 0,090; $Bi = 0,0040$.

4. По формуле (4) определяют требуемые значения коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_{тр} = \frac{0,004 \cdot 150}{0,09} = 6,66; \qquad \alpha_{тр} = \frac{0,0115 \cdot 150}{0,120} = 14,375;$$

$$\alpha_{тр} = \frac{0,022 \cdot 150}{0,18} = 18,33.$$

Из конструктивных соображений и возможностей обеспечения охлаждения с $\alpha_{тр} = 14,375$ Вт/м^2·К выбирают теплоотвод размером 0,12 x 0,06 м.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 2

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 4

3. ОПИСАНИЕ ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ТЕПЛОВЫХ МОДЕЛЕЙ 6

4. ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ II

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЛОКОВ С ГРУППОВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ I4

6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРУППОВОГО ИГОЛЬЧАТО-ШТЫРЕВОГО ТЕПЛООТВОДА 20

Рекомендуемое приложение I. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ БЛОКОВ С ГРУППОВЫМИ ТЕПЛООТВОДАМИ 26

Рекомендуемое приложение 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ 3I

Рекомендуемое приложение 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООБМЕНА 34

Рекомендуемое приложение 4. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООТВОДА С СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ИТ 76

Рекомендуемое приложение 5. МЕТОДИКА ПОДБОРА УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛООТВОДА С СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ДВУХ ИТ 82

I. Подбор условий охлаждения теплоотвода, являющегося частью конструкции блока 82

2. Подбор условий охлаждения и габаритов группового теплоотвода 83

Рекомендуемое приложение 6. ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЛОКОВ 87

Рекомендуемое приложение 7. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА 95

Рекомендуемое приложение 8. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ГРУППОВОГО ТЕПЛООТВОДА С СИММЕТРИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ИТ 99